Das Problem der Fernwirkung der Straße von Gibraltar

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Von

HEINZ DANNEBERG

aus Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juli 1933

Tag der Promotion: 10. Mai 1935

72

Druck: Doktordruck — Graphisches Institut Paul Funk, Berlin SW 68, Friedrichstr. 231.

Referenten: Prof. Dr. A. Defant
Prof. Dr. H. v. Ficker

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	5
Tiefenverhältnisse in der Straße von Gibraltar	6
Material und Methode	10
Das Mittelmeerwasser in der Straße von Gibraltar	17
Die Fernwirkung der Straße von Gibraltar im Golf von Cadiz	21
Die Fernwirkung der Straße von Gibraltar im Atlantischen Ozean (außerhalb des Golfes von Cadiz)	23

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550815_0176

Das Problem der Fernwirkung der Straße von Gibraltar im Atlantischen Ozean ist schon mehrfach erörtert worden. O. Jessen[1]) hat seiner Monographie über die Straße von Gibraltar eine Karte beigegeben, welche „die salzreiche mittelmeerische Zwischenschicht" im Atlantischen Ozean als eine Fläche mit mehr als 35,5 ‰ Salzgehalt bei rund 1000 m Tiefe zeigt (Fig. 1). J. P. Jacobsen[2]) hat aus den Stationslisten der Dana-Expedition die Salzgehaltsmaxima in Normaltiefen von 800—1000 m und die zu diesen Maxima gehörigen Temperaturen ermittelt. Seine Aussagen über die Tiefenlage, in welcher sich diese Salzgehaltsmaxima befinden, bestehen darin, daß er bei den meisten Werten die entsprechende Normaltiefe angibt. Er kommt an Hand dieser Zahlen zur Darstellung von Isohalinen und Isothermen für das Gebiet von 20°—55° N. und von 50°—5° W., welche auf den Mischungsprozeß des Mittelmeerwassers im Atlantischen Ozean hinweisen. Beide Darstellungen zeigen die Ausbreitung des Mittelmeerwassers in einer Hauptachse, welche vom Kap S. Vincent zu einem Punkt auf ungefähr 28° N., 50° W. geht. Diese Hauptausbreitung würde theoretischen Erwägungen nicht ganz entsprechen; denn man würde erwarten, daß sie sich infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation in nordwestlicher Richtung erstreckt. Bei Jacobsen findet sich keine Angabe über eine definitive Grenzsetzung des mediterranen Tiefenstromes im Atlantischen Ozean. Jessen setzt die „letzten sicheren Beimengungen von salzreichem Mittelmeerwasser" dort fest, wo sie sich in Tiefen von 1000—1500 m noch als Salzgehaltsmaxima zu erkennen geben. Er erhält dabei eine Grenzlinie, welche von der S.-W.-Küste Irlands über die Azoren und Madeira zu den Canaren geht. Diese Methode der Grenzsetzung ist aber für die Südrichtung der Ausbreitung nicht zulässig, da wir dann den Atlantischen Tiefenstrom, welcher sich ebenfalls an Salzgehaltsmaxima erkennen läßt, der Fernwirkung der Straße von Gibraltar zurechnen müssen. Dieser Tiefenstrom ist z. B. nach G. Wüst[3]) in der Ostmulde noch bis 52° S. an Salzgehaltsmaxima festzustellen. — In den Jahren 1921—29 hat die Zahl der Stationen für das in Frage kommende Gebiet des Atlantischen Ozeans durch die Fahrten der „Armauer Hansen" und für das Gebiet der Straße von Gibraltar durch die Fahrten der „Albacora" und der „Xauen" eine erhebliche Vermehrung erfahren. Ein Versuch, unsere Kenntnisse über den Unterstrom in der Straße von Gibraltar, seine Loslösung vom Boden im Golf von Cadiz und seine weitere Ausbreitung im Atlantischen Ozean — unter Anlehnung an die schon von Jacobsen benutzte Methode (s. oben) — zu erweitern, erscheint somit lohnend.

---

[1]) Anmerkungen siehe S. 29 u. 30

Tiefenverhältnisse in der Straße von Gibraltar.

Das Relief übt sowohl auf die Strömung als auch auf die Lagerung der einzelnen Wasserschichten eine gewisse kinematische Wirkung aus, welche um so größer ist, je näher wir uns dem Meeresboden befinden. Den maßgebenden Einfluß der Boden- und Küstenkonfiguration besonders in den Meeresstraßen haben A. Merz und L. Möller[4]) bei ihren Untersuchungen im Bosporus und Dardanellen gezeigt. Es war also notwendig, der Untersuchung der thermohalinen Verhältnisse in der Straße von Gibraltar eine solche über die Bodengestaltung dieses Gebietes voranzusetzen. Bei näherer Betrachtung der vorhandenen Tiefenkarten — es handelt sich im wesentlichen um zwei Karten, eine von Jessen[5]), die zweite von P. Jevenois[6]) — zeigte es sich, daß die Isobathen zumeist nur auf den in Seekarten vorhandenen Eintragungen beruhen. Da in den Seekarten nicht sämtliche Lotungen enthalten sind, wurde versucht, durch Benutzung eines möglichst großen Quellenmaterials die Lotangaben der Seekarten zu erweitern. Dieses Quellenmaterial setzt sich zusammen aus den „Lists of Oceanic Depths"[7]), aus den Untersuchungen der „Dana"[8]), der „Albacora"[9]) und der „Xauen"[10]). Auch die handschriftliche Lotungskartothek im Institut für Meereskunde zu Berlin bot eine Bereicherung an Tiefenzahlen. Einen sehr wesentlichen Beitrag bot eine vom spanischen Marineobservatorium in San Fernando übersandte Pause einer Karte, die ein außerordentlich großes Zahlenmaterial bietet, welches durch neuere systematisch angelegte Lotprofile der spanischen Marine gewonnen wurde. Alle diese Zahlen wurden in die deutsche Admiralitätskarte Nr. 309 eingetragen, welche als Arbeitskarte diente. Um einen Überblick über die Neueintragungen zu gewinnen, sind in der folgenden Karte (s. Fig. 3) die Anzahl der Tiefenangaben von mehr als 100 m pro Zehnminutenfeld eingetragen, und zwar gibt die Zahl links vom Pluszeichen die schon auf der Seekarte vorhandenen Lotungen an, die rechts vom Pluszeichen die Zahl der Neueintragungen. Die alleinstehende Zahl bringt die Zahl der Gesamtlotungen für das betreffende Zehnminutenfeld. Um den Abfall zu den größeren Tiefen noch mit darzustellen, wurde später die Arbeitskarte bis 7° W. verlängert. Hier wurden aus Seekarten 90 und aus den oben genanten Quellen 20 Tiefenangaben eingetragen. Es ergibt sich somit für die Tiefenangaben der Seekarte eine Zahl von 740 Lotungen, zu denen 778 Neueintragungen hinzukommen. Das entspricht einer Gesamtzahl von 1418 Tiefenzahlen von mehr als 100 m. Als Seekarte ist die Arbeitskarte in Merkatorprojektion entworfen, d. h., sie ist winkeltreu. Ihr Maßstab ist 1 : 100 000. Die Isobathen wurden für alle 100 m konstruiert. Bei den für die vorliegende Arbeit angefertigten Verkleinerungen im Maßstab 1 : 625 000 sind nur die für das Verständnis der Tiefenverhältnisse wesentlichen Isobathen eingetragen. Es sind dies die 200 m-Isobathe, im Westen die 600 m-

Isobathe und im Osten die 800 m-Isobathe. Ferner sind, um durchgehende Rinnen zu kennzeichnen, einige Zwischenisobathen eingetragen. (Gestrichelt gezeichnet.) Außerdem sollen einige Tiefenzahlen, bei denen 100 m als Einheit gewählt wurde, und bei denen der Schwerpunkt der Zahl als Lotpunkt gelten soll, die folgende Diskussion verständlicher gestalten. Es wurden, soweit möglich, Tiefenzahlen eingetragen, die im Talweg der Rinnen liegen.

Es konnte über alle Zahlen, die bei der Konstruktion zunächst zweifelhaft erschienen, Klarheit geschaffen werden, mit Ausnahme von zwei Zahlen auf etwa 36° 10′ N. und 5° 15′ W. Sie weisen Tiefen von 192 m und 475 m auf, während ringsumher Lotangaben von mehr als 800 m Tiefe sind. Sie wurden aber nicht gestrichen, zumal da zu der einen eine Bodenprobe vorhanden ist.

Wenn man die Straße von Gibraltar allein nach dem Küstenverlauf begrenzen sollte, so würde man das eine Ende der Straße auf etwa 6° W. mit einer Breite von 45,5 km ansetzen. Dann verjüngt sie sich nach Osten und erreicht auf 5° 31′ W. mit einer Breite von 14,5 km ihre engste Stelle. Nach Osten zu verbreitert sie sich allmählich wieder und erreicht mit einer Breite von 23,5 km auf 5° 20′ W. ihren Ausgang ins Mittelmeer. Betrachtet man aber das submarine Relief der Meeresstraße, so erkennt man, daß ihre Ausdehnung eine viel längere ist, als die Verteilung von Land und Wasser vermuten läßt. Westlich von 6° W. sehen wir ausgedehnte Schelfflächen, die sich bis über 40 km vom Festland weg erstrecken. Diese müssen wir dem Kontinentalblock zurechnen. Ihre am weitesten nach Westen vorgeschobenen Teile bilden die Eckpfeiler der eigentlichen Meeresstraße. Wir müssen also die Grenze der Straße gegen Westen auf 6° 30′ W. verlegen, d. h., ungefähr 50 km westlich der aus dem Küstenverlauf hervorgehenden Begrenzung. Im Osten sehen wir wesentlich kleinere Schelfflächen, aber auch hier liegt die submarine Grenze um 3 bis 5 km weiter ostwärts. In den großen Tiefen macht sich die Rinnenform noch bis zum Ostrand der Karte bemerkbar. Wenn wir die Straße so begrenzen, kommen wir auf eine Länge von rund 100 km gegenüber 50 km vorher.

Aus dem Verlauf der Isobathen tritt mit großer Deutlichkeit eine grabenartige Hauptsenke heraus, welche die beiden Kontinente trennt. Die Achsenrichtung dieser Rinne stimmt mit dem mittleren Verlauf der hier noch zur Darstellung gebrachten Küstenlinie des afrikanischen Kontinentes überein. Diese Hauptsenke aber — und das tritt in dieser Klarheit auf unserer Karte zum ersten Male hervor — ist im Westen in zwei parallele Rinnen geteilt. Vor vornherein würde man eigentlich annehmen, daß wir auf der ozeanischen Seite der Straße, wo sie auch breiter ist als im Osten, die größten Tiefen finden, und daß sich an der engsten Stelle die höchste Aufragung, die eigentliche Schwelle, die Grenze zwischen Mittelmeer und Ozean befindet. Es ist

aber wesentlich anders. An der engsten Stelle der Straße ist die Rinne verhältnismäßig steilwandig und mit Tiefen von 500 bis 800 m schon im Abfall zur mediterranen Seite. Die Schwelle liegt auf etwa 5° 59′ W. westlich der engsten Stelle. Ebenfalls auf der ozeanischen Seite finden wir in den Gegenden, wo die Rinne ihre größten Breiten erreicht, die geringsten Tiefen und die kleinsten Böschungswinkel. Hier sehen wir nämlich als Besonderheit eine Untiefe, genannt „The Ridge", welche verschiedentlich nur 60 m tief ist, während der submarine Steilabfall zur Tiefsee erst auf etwa 6° 40′ W. beginnt. Dagegen finden wir auf der mediterranen Seite, ungefähr auf 5° 10′ W. die größte Tiefe der Straße, welche etwa 1150 m beträgt. Dicht bei diesen Tiefen liegen die beiden oben erwähnten noch nicht ganz geklärten Lotungen. Die Lotungen südöstlich des Felsens von Gibraltar gestatten aber eine Konstruktion der Isobathen in dem Sinne, daß diese beiden Zahlen auf einem Rücken liegen, welcher eine Fortsetzung der Landzunge von Gibraltar in südlicher Richtung darstellen würde. Die oben erwähnte Untiefe auf der ozeanischen Seite bildet den östlichen Abschluß eines Rückens, der sich von WSW. hereinschiebt und hier zu Tiefen von weniger als 100 m aufragt. Durch diesen Rücken ist die Teilung der Straße in zwei parallele Rinnen bedingt. Auch in der Darstellung dieser bankartigen Aufragung unterscheidet sich die neue Karte von den früheren. Während die letzteren diese Untiefe durch die 300 m-Isobathe mit der spanischen Küste fest in Verbindung bringen, sehen wir in der vorliegenden Karte eine zweite Rinne, welche diesen Rücken von der spanischen Küste trennt. In dieser Rinne — wir wollen sie Nordrinne nennen, sie ist auf der beigegebenen Karte durch die 250 m-Linie dargestellt — werden die Tiefen nie kleiner als 280 m. An verschiedenen Stellen weist sie sogar Tiefen von mehr als 300 m auf. Da die Stromgrenze zwischen Ober- und Unterstrom in der Straße durchschnittlich in 150 m Tiefe liegt, ist also gegenüber den bisherigen Karten und gegenüber verschiedenen Beschreibungen der hydrographischen Verhältnisse dieser Meeresstraße festzustellen, daß für die Frage des Wasseraustausches durch die Straße von Gibraltar diese Nordrinne besonders für den Unterstrom mit in Betracht gezogen werden muß. Besitzt dieselbe doch Tiefen von mehr als 280 m und ist nördlich von „The Ridge" durch ein System von Einsenkungen mit mehr als 300 m Tiefe zu verfolgen. Es kommt ferner hinzu, daß wahrscheinlich infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation der Unterstrom einen wesentlichen Teil seiner Wassermassen durch diese Rinne verfrachten wird. Die Satteltiefe der Nordrinne liegt auf 6° W., und zwar beträgt sie 290 m. Weiter nach Osten senkt sich die Nordrinne, biegt auf 5° 51′ W. scharf nach Süden ab und vereinigt sich mit der Südrinne. Im Westen ist ihre Form noch bei der 600-m-Isobathe auf 6° 40′ W. deutlich zu erkennen. Die Südrinne steigt vom Südrand der Karte von Tiefen über 800 m zu einer Aufwölbung von 355 m südlich von „The Ridge" auf, um dann zu Tiefen von 500—600 m

abzusinken. Sie vereinigt sich, wie erwähnt, mit der Nordrinne zu einer Hauptrinne, welche in ihrem weiteren Verlauf bei 5° 45′ W. die für den Wasseraustausch maßgebliche Tiefe, die eigentliche Satteltiefe von 345 m aufweist. Weiter nach Osten senkt sich die Hauptrinne verhältnismäßig rasch auf Tiefen von mehr als 800 m. Auch dieser Teil der Rinne weist noch eine Reihe von Störungen auf, welche durch hügelähnliche Aufwölbungen in diesem Gebiet bedingt sind.

Es ist oben erwähnt worden, daß im östlichen Teil der Straße der Abfall der Rinnen zum Tiefseeboden sich bedeutend rascher vollzieht als im westlichen Teil. Dementsprechend sind auch die submarinen Böschungen im Osten bedeutend steiler als im Westen. Maximalwerte des Böschungswinkels von 24° bis 28° wurden südöstlich des Gibraltarfelsens gefunden, dort, wo auf unserer Karte die 200-m- und die 800-m-Isobathe sehr nahe beieinander verlaufen. Im Osten ist ferner noch auf eine Nebenrinne hinzuweisen, welche auf 5° 9′ W. fast senkrecht von der Hauptrinne abzweigt und mit Tiefen von 200 bis 500 m die Bucht von Algeciras bildet.

Zum besseren Verständnis der räumlichen Verhältnisse sind noch 4 Profile senkrecht zur Hauptrinne konstruiert worden:

1. Europa Point — Ceuta.
2. Punta de Canales — Ciris Huk (engste Stelle der Straße).
3. Camarinal Huk — Malabata Huk.
4. Kap Trafalgar — Kap Spartel (s. Fig. 4).

Auf der Karte ist die Lage dieser Profile durch Marken am Festland angedeutet. Sie sind längs einer Achse orientiert, welche von 5° 59′ W., 35° 45′ N. nach 5° 10′ W., 35° 59′ N. verläuft, und geben somit gleichsam ein räumliches Gerippe der Meeresstraße. Der horizontale Maßstab ist gleich dem der Karte, in der Vertikalen sind sie rund 31fach übertieft. Das entspricht einem Vertikalmaßstabe von 1 : 20 000. Es ist also zu bedenken, daß ohne Übertiefung z. B. die größte Tiefe des Profiles: Europa Point-Ceuta von rund 1000 m durch eine Länge von 1,6 mm gegeben wäre. Diese Länge käme etwa der doppelten Strichdicke der oberen Begrenzung dieses Profiles gleich. Die in das Profil hineingeschriebene Zahl gibt das Areal an.

Bei der Betrachtung der einzelnen Profile erkennen wir wieder das, was wir vorhin festgestellt haben: Die große Breite der Profile auf der ozeanischen Seite, die rasche Verjüngung bis zu 5° 21′ W. und die nur geringe Erweiterung zur mediterranen Seite hin. Dem steht gegenüber, daß, für die hier gewählten Ausschnitte, sich die Profile von einer Maximaltiefe von rund 400 m im Westen auf eine Maximaltiefe von rund 1000 m im Osten vertiefen.

Das Areal der Profile ist eine Funktion von Breite und Tiefe. Wenn wir uns die mittlere Tiefe der Profile berechnen: 1. 532 m², 2. 386 m², 3. 147 m², 4. 153 m², so erkennen wir, daß bei den Arealen

unseres Gebietes der Tiefenfaktor die ausschlaggebende Bedeutung hat, denn im Profil: Camarinal Huk — Malabata Huk, wo wir die geringste mittlere Tiefe von 147 m haben, finden wir auch das kleinste Areal von 4,2 km². Dieses kleinste Areal befindet sich also nicht an der engsten Stelle der Straße, sondern ist — ähnlich wie die Schwelle — nach der ozeanischen Seite verschoben. Dieser morphologische Zug wird auf die Geschwindigkeitsverteilung im Ober- und Unterstrom sicherlich einen großen Einfluß haben.

Im Westprofil erkennen wir deutlich die Zweiteilung der Rinne durch „The Ridge". Das nächste Profil zeigt die Hauptrinne kurz nach der Vereinigung der beiden Rinnen. Auf der Nordseite strahlen noch zwei kleine Ausläufer der Nordrinne hinein. Das Profil der engsten Stelle zeigt eine der oben erwähnten hügelähnlichen Aufwölbungen. In den beiden Ostprofilen treten sehr deutlich die gegenüber dem Westprofil bedeutend steileren submarinen Hänge hervor.

Für den westlichen Teil der Straße haben wir eine Zweiteilung in Nord- und Südrinne vornehmen können. Auch für die Richtung der Hauptachse des Rinnenzuges kann man eine Unterteilung machen, welche durch die zwei Querrücken bedingt ist, die über die Rinnen hinwegziehen: der eine über „The Ridge" und die Aufwölbungen der beiden Rinnen auf etwa 6° W. mit einer Maximaltiefe von 355 m und größerer Länge als der zweite über die Satteltiefe (345 m) der Hauptrinne auf etwa 5° 46′ W. Diese beiden Querrücken bilden ein in sich abgeschlossenes Mittelbecken, welches etwa durch die 375-m-Linie zu begrenzen wäre. Dieses Mittelbecken weist Tiefen von 500—600 m auf.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Neubearbeitung der Tiefenverhältnisse in der Straße von Gibraltar einige neue morphologische Einzelzüge ergeben hat, welche für das Studium der Ausgleichsströmungen, die in dieser Meeresstraße vorhanden sind, von Wichtigkeit sind. Allerdings kann man ihren Einfluß auf die Wasserbewegung und Schichtung im einzelnen nicht immer verfolgen. Dazu ist das bisherige Material noch zu gering.

Material und Methode für die Bestimmung der Fernwirkung.

Das wesentliche Charakteristikum des Mittelmeerwassers im Alboranbecken ist der hohe Salzgehalt von rund 38,5 ‰. An den Beimischungen dieses hohen Salzgehaltes ist der aus der Straße von Gibraltar kommende Unterstrom im Golf von Cadiz und im Atlantischen Ozean zu erkennen. Im Atlantischen Ozean aber werden die Verhältnisse durch den von G. Wüst[11]) näher untersuchten thermohalinen Aufbau des genannten Gebietes recht kompliziert, denn die Dichte dieses Unterstromes, dort, wo er sich vom Boden löst, muß etwa der des Nordatlantischen Tiefenstromes gleicher Breite, welcher ebenfalls durch ein Salzgehaltsmaximum charakterisiert ist, ent-

sprechen. Da die Untersuchung über die Fernwirkung der Straße von Gibraltar an Hand der Salzgehaltsmaxima durchgeführt werden sollte, ist es nicht möglich, eine scharfe Trennung der beiden Ströme zu geben. Man kann also gewissermaßen nur eine Überlagerung des Tiefenstromes durch die Fernwirkung der Straße von Gibraltar feststellen.

Um, wenn möglich, eine Darstellung von Einzelzügen in der Fernwirkung der Straße von Gibraltar auf den Tiefenstrom zu gewinnen — eine Darstellung, welche durch Horizontalschnitte in Normaltiefen weniger gut zur Geltung kommt — wurden aus dem zur Verfügung stehenden Stationsmaterial Vertikalkurven der Temperatur und des Salzgehaltes entworfen; die in den Stationslisten veröffentlichten Beobachtungen wurden zu diesem Zweck in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingetragen; die Ordinatenachse enthält die Tiefen, die Abszissenachse die Salzgehalte bzw. Temperaturen. Diese Punkte wurden durch eine möglichst ausgeglichene Kurve verbunden. Außerdem wurden, um die Mischungsverhältnisse besser studieren zu können, die entsprechenden Kurven der Beziehung $S = f(t)$ konstruiert. Aus den Vertikalkurven des Salzgehaltes wurde das Salzgehaltsmaximum der Tiefen- bzw. Bodenschicht und gleichzeitig die Tiefenlage dieses Maximums bestimmt. Dann wurde die zu dieser Tiefe gehörige Temperatur den Temperaturkurven entnommen. Zwei Beispiele sollen das Verfahren näher erläutern, zunächst das eine für den Fall, daß das Salzgehaltsmaximum in der Tiefenschicht liegt. In Fig. 6 sind die einzelnen Kurvensysteme für die uns interessierenden Tiefen der Station 29 der „Armauer Hansen"[12]) wiedergegeben. Die Beobachtungen werden durch die stehenden Kreuze dargestellt. Die ausgezogene Linie ist die vom Verfasser durch diese Kreuze gelegte Kurve. Für diese Station wurde in einer Tiefe von 1180 m das Salzgehaltsmaximum zu 36,22 ‰ gefunden. Die Temperatur dieser Tiefe beträgt 10,64°. Es ist leicht einzusehen, daß, wenn man für sinngemäße Übereinstimmung der drei Systeme Sorge trägt, die Fehler bei der Temperatur- und Salzgehaltsbestimmung in verhältnismäßig engen Grenzen gehalten werden können. So wird er meiner Ansicht nach kaum größer als ± 0,1 ‰ bzw. 0,05° werden, während für die Bestimmung der Tiefe ein Fehler von ± 25 m anzusetzen ist. Auch der vertikale Abstand der einzelnen Beobachtungen wird bei diesen Fehlergrenzen eine gewisse Rolle spielen. Je engabständiger die Beobachtungen sind, um so genauer wird die Bestimmung der zusammengehörigen Werte von Temperatur, Salzgehalt und Tiefe nach dieser Methode sein. So erschien es dem Verfasser zwecklos, Stationen zu bearbeiten, deren vertikaler Abstand der Beobachtungen in den Tiefen des Salzgehaltsmaximums größer als 200 m war. Desgleichen wurde an das Beobachtungsmaterial die Anforderung gestellt, daß unterhalb des Salzgehaltsmaximums mindestens noch zwei Beobachtungen vorhanden sind.

Besondere Schwierigkeiten bot die Bearbeitung des Materials an den Stellen, wo das Salzgehaltsmaximum am Boden liegt, also im Golf von Cadiz und in der Straße von Gibraltar. Bis jetzt hat für diese Gegend noch keine Expedition direkte Bodenbeobachtungen geliefert, so daß man auf das Extrapolieren angewiesen ist. In Fig. 7 sind die Verhältnisse für die Station 269 der „Albacora"[13]) dargestellt. Der Abstand der letzten Beobachtung vom Boden beträgt 30 m. Der Verlauf der Kurven bis zu dieser Beobachtung erscheint durch die verhältnismäßig engabständigen Beobachtungen von je 100 m genügend gesichert. Da aber gerade hier, wie bei fast aller Station dieses Gebietes, die Salzgehaltskurve fehr flach verläuft, können die Fehler bei dieser Bestimmung doch recht erheblich werden, während sie bei der Temperatur nicht entsprechend groß zu sein brauchen. Hier hat der Abstand der letzten Beobachtung vom Boden — im allgemeinen war dieser Abstand nie größer als 50 m — einen großen Einfluß auf die Genauigkeit der Bestimmung.

Die nach diesem Schema bearbeiteten Stationen — es sind rund 110 Stationen mit dem Salzgehaltsmaximum in der Tiefenschicht und 80 Stationen mit dem Salzgehaltsmaximum am Boden — mit den dabei gefundenen Werten sind in Tabelle 1 und 2 angegeben.

Für die Straße von Gibraltar und den Golf von Cadiz wurden die Stationen in Gruppen von je drei aufeinanderfolgenden Monaten zusammengefaßt. Aber nur die Zahl der Stationen im Spätwinter (Januar, Februar, März) und im Spätsommer (Juli, August, September) ist groß genug, um bearbeitet werden zu können.

Um eine Kontrolle der einzelnen Werte, insbesondere der extrapolierten, zu haben, wurden die Salzgehalte und Temperaturen der Tabelle 1 und 2 in ein System $S = f(t)$ eingetragen (s. Fig. 5). Es zeigte sich, daß man es hier mit einer Kurve zu tun hat, die einen gebrochenen Verlauf von drei fast linearen Kurvenstücken aufweist. Charakteristisch für den ersten Teil der Kurve ist es, daß für den hohen Salzgehaltsgradienten von 38,5 ‰ bis 36,5 ‰ die Temperatur fast gar keine Änderung zeigt. Die Werte streuen um einen Mittelwert von 13,5°. Der zweite Teil weist für einen Salzgehaltsbereich von 36,5 ‰ bis 35,2 ‰ einen Temperaturabfall von 12,5° bis 6,5° auf. Im dritten Teil der Kurve, der nur aus Stationen südlich von 25° N. besteht, ist als wesentliches Merkmal starke Temperaturveränderung bei geringen Salzgehaltsänderungen zu verzeichnen. Die Temperatur fällt für den hier noch dargestellten Teil der Kurve von 6° auf 4°, der Salzgehalt liegt zwischen 35,1 ‰ und 35,0 ‰. Die besonders stark im Schnittpunkt des ersten und zweiten Teiles der Kurve streuenden extra — und interpolierten Werte wurden beibehalten, da die Zahlen der Stationslisten keine andere Deutung zuließen. Da aber, besonders bei den interpolierten Werten, Zweifel an der Zuverlässigkeit der Darstellung nicht vorhanden sind, müssen wir sie als durchaus reell ansehen.

Tiefenlagen, Salzgehalte und Temperaturen der salzreichen Boden- bzw. Tiefenschicht im Golf von Cadiz (= Tabelle 1).

Schiff	St. Nr.	Breite (N)	Länge (W)	Datum	Tiefe (m)	Temp. (C°)	Salzgehalt (‰)
Thor [14]	61	35° 57′	5° 35′	21. 2. 1909	380—740	12,97	38,37
	63	50	6 03		475—490	13,24	38,04
	65	53	7 26	24.	1300	10,21	36,12 +
	66	36 16	6 52	25.	735	12,20	37,65 +
	68	39	7 21	27.	550	13,34	36,52 +
Albacora [15]	225	19	8 40	18. 2. 1929	1000	12,37	55
	226	35 36	28	19.	1200	10,00	13
	227	10	20		1200	9,32	35,83
	234	17	6 48	28.	550	10,94	72 +
	238	54	31	1. 3.	510	12,86	36,39 +
	240	45	6 57	10.	850	10,28	35,66 +
	242	36 51	7 17	12.	267	14,68	36,24 +
	243	41	41		520	12,98	65 +
	244	23	07	13.	609	11,75	35,77 +
	247	38 05	9 11	14.	530	80	82 +
Thor	89	36° 28′	8° 22′	18. 6. 1910	1310	12,15	36,76 +
	91	35 53	7 26		1225	11,55	46 +
	92	36 16	6 50	19.	775	12,80	95 +
	95	35 57	00	23.	275	13,41	37,76 +
	97	50	5 59		598	21	38,10 +
	98	57	35		700	12,95	37 +
Xauen [16]	2. XII_1	36 02.9	5 59,4	2. 12. 1929	105	14,84	36,56 +
	2. XII_2	35 57,05	57,6		285	13,69	37,61 +
	2. XII_3	51,5	56,2		355	14,81	81
	3. XII_1	43,5	6 11,8	3.	215	15,10	36,07 +
	3. XII_2	48,5	12,5		469	13,34	38,00 +
Dana [17]	1107	36° 28′	8° 38′	13. 9. 1921	1200	10,83	36,27
	1108	35 11	28	14.	1190	9,73	35,96
	1110	34 18	10	15.	1215	68	36,01
	1111	35 04	6 54	17.	600	10,40	35,60
	1112	52	35		615	26	61 +
	1113	36 10	42		587	11,81	36,20 +
	1117	35 59	5 30	21.	300—500	12,97	38,44
Thor	229	51	58	8. 9. 1910	485	13,03	15 +
	230	57	6 00		290	20	00 +
Albacora	252	36 47	8 50	5. 8. 1929	408	11,80	35,78 +
	254	24	43		1330	60	36,50
	255	35 58	33	6.	1160	10,70	19
	256	29	21		1150	20	17
	258	34 35	00	7.	1160	21	10
	263	35 16	6 50	13.	870	9,89	35,68 +
	264	30	7 00		1160	60	36,15 +
	268	36 40	13	22.	495	13,13	96 +
	269	26	13	27.	580	05	62 +
	270	04	07	28.	820	12,75	37,04 +
	271	35 49	03		1042	11,10	36,16 +
	272	35 59	43		570	12,97	16 +
	273	53	6 40		552	13,05	62 +
	274	48	38		565	05	37,43 +

Tiefenlagen, Salzgehalte und Temperaturen der salzreichen Boden- bzw. Tiefenschicht im Golf von Cadiz
(Fortsetzung von Tabelle 1).

Schiff	St. Nr.	Breite (N)	Länge (W)	Datum	Tiefe (m)	Temp. (C°)	Salzgehalt (‰)
Albacora	275	35° 45′	6° 33′		510	13.09	36.91 +
	277	52	5 55	29. 8. 1929	480	09	38.23 +
	278	49	58		278	12.95	36.35 +
	279	51.5	59	29.	380	13.04	38.16 +
	281	54	59		289	16	22 +
	282	53	45	30.	208	32	37.87 +
	283	55	45		280	10	38.49 +
	284	57	45		400	20	45 +
	285	36 09	6 46	31.	610	11.99	36.28 +
	286	12	41		510	13.02	59 +
	288	39	8 42	1. 9.	700	12.43	26
Xauen	15. IX_1	03	5 58.8	15.	100	13.76	24 +
	15. IX_2	35 57.2	57.8		290	47	38.00 +
	15. IX_3	51.5	57.2		400	17	26 +

+ t und S ‰ extrapoliert.

Tiefenlagen, Salzgehalte und Temperaturen der salzreichen Tiefenschicht im Atlantischen Ozean, außerhalb des Golfs von Cadiz
(Tabelle 2).

Schiff	St. Nr.	Breite (N)	Länge (W)	Datum	Tiefe m	Temp. (C°)	Salzgehalt (‰)
Armauer Hansen [18]	6	47° 57′	9° 42′	5. 6. 1914	940	9.55	35.72
	7	36	10 38		1180	94	63
	8	18	11 53	6.	940	20	61
	9	46 54	12 21		960	16	67
	10	25	13 14	7.	850	10.18	74
	11	00	14 03		970	8.23	51
	12	45 25	15 22	8.	1000	9.83	75
	13	44 57	16 05		1200	8.56	69
	14	28	50	9.	990	40	52
	15	43 58	17 46		1020	85	65
	16	29	16 51		800	9.70	51
	17	42 45	15 53	10.	1180	7.69	53
	18	09	14 56		1050	9.81	88
	19	41 34	13 47	11.	1090	10.47	36.03
	20	03	12 44		1180	9.72	35.97
	21	40 36	02	12.	1130	87	98
	22	03	11 22		1170	11.35	36.32
	23	39 17	10 28	13.	1160	33	37
	26	38 28	9 36	20.	1195	28	35
	27	37 58	10 18	21.	1170	10.67	15
	28	33	54		1190	11.00	35
	29	15	11 19		1180	10.64	22
	30	36 48	12 12	22.	1190	58	26
	31	35	46		1190	78	19

Tiefenlagen, Salzgehalte und Temperaturen der salzreichen Tiefenschicht im Atlantischen Ozean, außerhalb des Golfes von Cadiz (Fortsetzung von Tabelle 2).

Schiff	St. Nr.	Breite (N)	Länge (W)	Datum	Tiefe (m)	Temp. (C°)	Salzgehalt (‰)
Armauer	32	36° 17′	13° 12′	22. 6. 1914	1100	10.71	36.15
Hansen	33	35 35	14 10	23. 6. 1914	1320	9.13	35.92
	34	34 54	15 13		1200	62	92
	35	13	16 07	24.	1210	80	36.01
	37	33 38	43		1060	01	35.58
	39	32 55	17 36	27.	1090	10	70
	40	33 09	59		1170	12	65
	41	45	18 54	28.	1170	01	74
	43	34 09	19 39		1045	8.86	61
	44	33	20 27	29.	1030	8.63	71
	45	59	21 07		1000	9.00	77
	46	35 20	48	30.	1090	8.98	72
	47	43	22 35		1160	9.22	86
	48	36 03	23 09	1. 7.	1020	52	76
	50	30	45		1150	8.49	71
	51	37 05	24 45	2.	780	10.27	71
	52	32	25 21		785	9.08	51
	53	38 43	39	6.	1040	8.37	52
	54	39 31	25	7.	1125	35	56
	55	41 31	24 49	8.	1280	6.53	27
	56	42 28	39		1090	7.41	41
	57	43 36	14		1085	6.71	22
	58	45 45	22 15	10.	1095	48	26
	64	56 33	12 52	16.	1025	9.14	33
	14	34 41	9 30	26. 5. 1922	1190	10.45	36.12
	23	33 12	10 20	2. 6.	1175	9.43	35.82
	24	12	11 17	3.	1180	10.43	36.12
	26	31 56	14 53	5.	1280	8.65	35.74
	28	32 16	17 30	9.	1045	9.84	69
	31	34 17	21 15	12.	1090	8.41	61
	35	38 38	25 58	19.	980	7.79	49
	36	39 37	25 52	20.	815	8.52	76
	37	40 38	26 02	21.	970	30	55
	38	42 13	25 49	22.	1075	7.60	50
	40	43 32	24 45	23.	1165	8.06	58
	42	46 56	18 54	26.	1155	05	53
	44	47 44	15 40	27.	1000	87	58
Dana	1103	45 46	8 56	9. 9. 1921	1100	9.13	71
	1104	43 30	10 05	10.	1020	10.10	96
	1105	40 52	06	11.	830	11.74	36.09
	1142	33 26	16 59	15. 10.	1120	8.71	35.69
	1152	30 17	20 44	22.	1070	98	71
	1156	25 11	57	25.	1310	6.88	28
	1157	21 57	22 58	27.	1300	5.73	14
	1159	17 55	24 35	29.	1380	4.87	05
	1160	15 50	26 32	4. 11.	1390	73	04
	1365	31 47	41 41	8. 6. 1922	1180	6.75	32
	1367	33 42	36 16	10.	1015	7.03	27
	1369	35 44	29 33	12.	1010	8.94	62
	1370	36 36	26 14	13.	950	9.57	72

Tiefenlagen, Salzgehalte und Temperaturen der salzreichen Tiefenschicht im Atlantischen Ozean, außerhalb des Golfes von Cadiz (Fortsetzung von Tabelle 2).

Schiff	St. Nr.	Breite (N)	Länge (W)	Datum	Tiefe (m)	Temp. (C°)	Salzgehalt ‰
Dana	1379	38° 02′	25° 52′	18. 6. 1922	850	9.16	35.54
	1381	39 51	20 54	20.	1030	10	80
	1383	41 03	16 53	21.	1060	67	89
	1384	42 21	11 48	23.	1070	10.12	93
	1385	43 10	9 50		1200	38	36.08
	1387	46 28	8 01	25.	940	9.50	35 68
Thor	87	37 03	9 15	17. 6. 1910	1115	11.81	36.46
	80	46 17	7 31	13.	~1000	~ 9.53	~35.77
	81	41 32	9 32	15.	~ 900	~10.95	~36.03
Möwe [19]	9	31 29	11 37	1. 6. 1911	1200	86	29
Deutschland [20]	7	46 29	13 11	16. 5. 1911	1000	9.14	35.55
	23	48 38	26 13	26.	1000	8.50	46
	24	39 51	13	29.	790	9.17	42
Margarethe [21]		42 38	30 42		1150	6.51	25
Meteor V.E. [22]	I.	40 19	10 50	26. 1. 1925	975	10.93	36.08
	II.	28 36	15 36	31.	1210	7.40	35.42
	III.	37 00	13 40	10.	1125	11.05	36.21
H. E. Probe-St.		24 31.5	26 58.2	29. 2. 1927	1390	4.23	35.28
	271	20 02	23 58.5	3. 3.	1400	4.72	03
	272	19 16.8	22 30.6	4.	1400	5.12	09
	273	16.7	19 58.7	6.	1235	76	11
	274	18 52.8	18 01.2	7.	1255	51	06
	277	17 48.8	19 31.8	9.	1290	41	04
	278	22.2	22 00.8	10.	1510	4.48	02
	279	19 15.7	27 27.4	17.	1375	5.08	06
	280	10.8	30 12.5	18.	1390	16	08
	281	18 59.0	33 25.0	20.	1275	10	04
	282	31.7	36 45.4	21.	1580	4.36	04
	283	17 52.7	39 19.0	22.	1440	67	02
	284	16 34.0	42 00.0	24.	1485	31	34.99
	285	15 43.4	43 28.1	25.	1415	53	99
	286	04.0	44 39.3		1510	29	97
	309	16 47.8	25 27.6	5. 5.	1405	62	35.06
	310	19 17.4	24 59.5	7.	1515	47	13

Wenn wir die Kurvenstücke im einzelnen betrachten, so erkennen wir, daß der erste Teil der Kurve hauptsächlich aus extrapolierten Werten, d. h. Bodenwerten, besteht. Die beiden nicht als Bodenwerte bezeichneten Punkte beruhen auf Station 61 und 63 der „Thor" (s. Tab. 1), die für den Februar eine mehr oder minder mächtige homogene Bodenschicht im Mittelbecken der Straße von Gibraltar aufweisen. Aus den Vertikalkurven der Temperatur und des Salzgehaltes ließ sich für den Anstieg der Kurve zum Bodenmaximum des Salzgehaltes ein Gradient von 0,5 ‰/100 m bis 1,5 ‰/100 m berechnen, während der der Temperatur nur 0,5 °/100 m bis 1,0°/100 m betrug. Die beiden Wasserarten, die hier zur Mischung gelangen,

unterscheiden sich also hauptsächlich nur in ihrem Salzgehalt. Größere vertikale Temperaturgradienten treten erst nach der Ablösung des Salzgehaltsmaximums vom Boden ein, und zwar in den Schichten unterhalb dieses Maximums. Das macht sich in unserem S-T-Diagramm dadurch bemerkbar, daß nun im zweiten Teil der Kurve auch die Temperaturen kräftig verringert werden.

Wenn wir aus dem eben Gesagten als Grund der Temperaturverminderung im zweiten Teil der Kurve annehmen, daß diese Verminderung erst eintritt, wenn das Salzgehaltsmaximum über den verhältnismäßig kühleren Bodenwässern liegt, also erst, wenn die Ablösung des Salzgehaltsmaximums vom Boden erfolgt ist, dann sind wir zur Erklärung der starken Streuung der Werte im Berührungsteil des ersten und zweiten Kurvenstückes gezwungen, anzunehmen, daß diese Ablösung unter recht verschiedenen Bedingungen auftreten wird. Sie kann schon bei einem Salzgehalt von 36,5 ‰ eintreten und damit stärkere Temperaturverminderung bewirken. Andererseits erfolgen die Ablösung und Temperaturverminderung stellenweise erst bei einem Salzgehalt von 36,0 ‰. Diese verschiedenartige Ablösung bringt es mit sich, daß Werte gleichen Salzgehaltes Temperaturunterschiede bis zu etwa 2° aufweisen.

Der dritte Teil der Kurve besteht nur aus Stationen südlich von 22° N. Wir haben es bei diesem Kurvenstück vermutlich mit dem Teil des nordatlantischen Tiefenstroms zu tun, welcher nicht mehr von dem Unterstrom der Straße von Gibraltar beeinflußt wird. Unter dieser Annahme kann man das Berührungsgebiet des zweiten und dritten Teiles der Kurve zu einer Grenzsetzung der Fernwirkung der Straße von Gibraltar benutzen und würde damit die Isothermen 6,0° bis 6,5° als Grenze dieser Fernwirkung gegen Süden definieren können.

Das Mittelmeerwasser in der Straße von Gibraltar.

Die ozeanographischen Verhältnisse in der Straße von Gibraltar sind von verschiedenen Forschern, wie z. B. Nielsen[22]), J. Schmidt[21]), R. de Buën[25]), Schott[26]), A. Ramalho[27]) genügend geklärt, so daß wir uns mit einer Zusammenfassung ihrer Ergebnisse und einigen Ergänzungen begnügen können. Auch die neueren spanischen und portugiesischen Beobachtungsreihen gestatten nur die bis jetzt erhaltenen Ergebnisse zahlenmäßig zu vervollkommnen.

Die Straße von Gibraltar stellt die Verbindung zwischen Ozean und Mittelmeer her. Der Austausch der beiderseitigen Wasserarten, der sich in solchen Meeresstraßen vollzieht, ist wohl nirgends so großartig wie gerade in dieser Meeresstraße. Für die Ausbreitung des Mittelmeerwassers durch diese Straße sind die thermohalinen

Verhältnisse im Alboranbecken maßgebend. Dort liegt in einer Tiefe von rund 400 m ab eine Bodenschicht mit den hohen Salzgehalten von 38,3 ‰ bis 38,5 ‰ und einer Temperatur von 12° bis 15°. Die Salzgehalts- und Temperaturgradienten innerhalb dieser Schicht sind so gering, daß sie als fast homogen anzusehen ist. Das Entstehungsgebiet dieses homogenen Wasserkörpers liegt im Levantebecken und in der östlichen Aegäis. Im Sommer wird dort infolge der in diesen Breiten hohen Verdunstung, welche durch die umliegenden Kontinente noch gesteigert wird, das Oberflächenwasser außerordentlich salzreich. Es sind dort Salzgehalte von mehr als 39 ‰ zu beobachten. Bei der Abkühlung im Winter sinkt es in die Tiefe und füllt die Tiefen- und Bodenschichten mit Wassermassen hohen Salzgehaltes. Auf seinem Wege nach Westen verliert es insbesondere durch Mischung mit der relativ salzarmen Zwischenschicht an Salzgehalt. Im Alboranbecken ist es mit den oben genannten Werten zu finden. Das dadurch gestörte Gleichgewicht im System des Mittelmeeres und des Atlantischen Ozeans führt zu Ausgleichsströmungen in der Straße von Gibraltar, und zwar führt der Oberstrom kühles salzarmes Wasser in das Mittelmeer hinein und deckt damit das Defizit im Wasserhaushalt dieses Nebenmeeres zu 67% (nach Jessen[28])). Der Unterstrom führt salzreiches Wasser in den Atlantischen Ozean hinaus. Beide Ströme entsprechen nach den wenigen bis jetzt gemachten Strommessungen im allgemeinen den theoretischen Überlegungen, welche von A. Defant[29]) über den Austausch und die Bewegungen in Meeresstraßen aufgestellt worden sind.

Um die in der Straße vorhandenen Wasserarten zu erkennen und zu charakterisieren, wurde die Beziehung $S = f(t)$ benutzt. In diesem System wird eine homogene Wassermasse als Punkt dargestellt. Das Mischwasser zweier homogener Wasserkörper ist durch die geradlinige Verbindung der beiden entsprechenden Punkte gegeben. Bei mehreren Wasserkörpern besteht diese Beziehungskurve aus mehreren annähernd linearen Kurvenstücken, welche sich zu einer gebrochenen Kurve zusammensetzen. Die Wendepunkte bezeichnen dann die Kerngebiete der einzelnen Wasserkörper bzw. die Reste solcher Kerngebiete. Im nachstehenden S-T-Diagramm sind die in der Straße von Gibraltar anzutreffenden mittleren Verhältnisse schematisch dargestellt (Fig. 8).

Die Unterteilung des ausgezogenen Kurvenstückes soll den Teil der Beziehung $S = f(t)$ angeben, den wir in den einzelnen Abschnitten der Straße antreffen. Man erkennt, daß es sich um zwei Kerngebiete bzw. deren Reste handelt. Das Kerngebiet des Oberstromes liegt auf 6° 20′ W. bei 35,8 ‰ und 12,75°. Da dieser Oberstrom aus den Zwischenschichten des Atlantischen Ozeans, also aus den Schichten des Salzgehaltsminimums zwischen 500 und 1000 m, kommt, sei es im folgenden immer Z-Wasser genannt. Über ihm bildet sich je nach

den klimatischen Einflüssen ein Mischwasser zwischen Oberflächen- und Z-Wasser (dargestellt durch die gestrichelte Kurve). Zwischen Z-Wasser und dem fast homogenen Mittelmeerwasser ist ein Mischwasser vorhanden, welches wir im folgenden als M-Wasser bezeichnen wollen. Es zeigt sich nun, daß das reine Mittelmeerwasser infolge seiner größeren Tiefenlage nur in den seltensten Fällen über die Schwelle in das Mittelbecken gelangt, und auch dann weist es die hohen Werte des Salzgehaltes und der Temperatur nur in einer wenige Meter mächtigen Bodenschicht auf. Westlich des Mittelbeckens sind nach den bisher ausgeführten Stationen die Salzgehalte nie größer als 38,25 ‰, und diese Salzgehalte sind nur am Boden zu finden. Das M-Wasser bildet also im Mittelbecken und westlich davon die Bodenschicht. Wir müssen es somit als den eigentlichen Träger der Ausgleichsbewegung im Unterstrom ansehen.

Zur Untersuchung der jahreszeitlichen Änderung in Temperatur und Salzgehalt des M-Wassers müssen wir die Komponenten des Z-Wassers und des homogenen Mittelmeerwassers betrachten. Die letzteren kann man infolge ihrer geringen Änderungen für diese Untersuchungen als konstant ansehen. Im Spätsommer ist der Bedarf des Mittelmeeres an salzarmen Wassermassen am größten, da die Verdunstung zu dieser Zeit ein Maximum hat, während die Zufuhr von Frischwasser durch Niederschläge und Flüsse ein Minimum aufweist. Dieser Mehrbedarf bewirkt, daß die Menge des zu dieser Zeit durch die Straße von Gibraltar fließenden Z-Wassers am größten wird. Dadurch wird aber auch seine Beteiligung an der Zusammensetzung des M-Wassers am größten, so daß zu dieser Zeit Temperatur und Salzgehalt des M-Wassers ein Minimum werden. Im Spätwinter wird infolge der abnehmenden Verdunstung und der vermehrten Zufuhr von Flußwasser und Niederschlag im Mittelmeer sein Bedarf an Z-Wasser am geringsten. Dadurch wird auch der prozentuale Anteil des letzteren an der Zusammensetzung des M-Wassers am kleinsten. Darum weisen dessen Temperatur und Salzgehalt jetzt ein Maximum auf. Wir sehen somit, daß der jährliche Gang der Temperaturen und Salzgehalte im M-Wasser, wenn auch mit geringeren Schwankungen als an der Oberfläche, dem der Oberfläche entgegengesetzt sein muß.

Über die jahreszeitlichen Änderungen der Geschwindigkeit und Mächtigkeit der beiden Ströme lassen sich exakte Angaben nicht machen, da zur Zeit noch keine Beobachtungsreihen darüber vorliegen. Unsere Kenntnisse über die Stromgeschwindigkeiten und Richtungen beruhen im wesentlichen auf Angaben der Oberflächenströmungen im Segelhandbuch[30]) und auf Strommessungen der „Michael Sars"[31]) vom 30. IV. 1910 auf 35° 56′ N. und 5° 43′ W. östlich des Mittelbeckens. Nach dem Segelhandbuch treten die größten Geschwindigkeiten der Oberfläche stets auf der afrikanischen Seite der Straße auf. Diese Tatsache ist durch die ablenkende Kraft der

Erdrotation bedingt. Die Beobachtungen der „Michael Sars" zeigen für den gleichen Ort und für die gleiche Tiefe große Änderung sowohl in der Richtung als auch in der Geschwindigkeit der beiden Ströme. Da diese Änderungen im Gezeitenrhythmus erfolgen, können wir sie auf den Gezeiteneinfluß zurückführen. Es zeigt sich dann, daß bei westwärts setzendem Gezeitenstrom die Ostkomponente der Geschwindigkeit im Oberstrom sehr klein, sogar negativ wird, während die Westkomponente des Unterstromes ein Maximum aufweist. Dagegen werden bei ostwärts gerichtetem Gezeitenstrom die Ostkomponente im Oberstrom sehr groß und die Westkomponente im Unterstrom klein. Eine weitere Modifikation des Strömungsverlaufes werden vermutlich auch Luftdruck und Winde bewirken. Das Segelhandbuch gibt dafür an, daß bei anhaltenden östlichen Winden der westwärts setzende Gezeitenstrom den Oberflächenstrom für längere Zeit umkehren kann. Durch die zeitlich stark wechselnden Geschwindigkeiten ändert sich auch die Lage der Isothermen und Isohalinen in den Querprofilen, und zwar ist zu erwarten, daß bei westwärts setzendem Gezeitenstrom ihr Anstieg von Süden nach Norden im Unterstrom bedeutend steiler sein wird, als im Oberstrom. Umgekehrt muß man annehmen, daß bei ostwärts setzendem Gezeitenstrom ihre Neigung im Oberstrom größer ist als im Unterstrom.

Ein Bild über den Zusammenhang zwischen Gezeiten und der Diskontinuitätsfläche gibt die Danastation 1138 auf 35° 59′ N. und 5° 30′ W. östlich des Mittelbeckens vom 8. bis 10. X. 1921. Es zeigt sich, daß die Gezeitenwelle der Oberfläche eine entgegengesetzte Verlagerung der thermohalinen Grenzfläche bewirkt. Die Amplitude der letzteren beträgt 70—80 m, ist also etwa 70—80mal größer als die Amplitude der Gezeitenwelle an der Oberfläche. Diese Verlagerung nebst ihrer Größenordnung steht im Einklang mit der von A. Defant[32]) entwickelten Theorie.

Zur Frage der Grenzsetzung zwischen dem Ober- und Unterstrom können wir uns für das Gebiet östlich des Mittelbeckens der Auffassung von Schott[33]), daß die Stromgrenzfläche unter der thermohalinen Grenzschicht liegt, anschließen. Im Mittelbecken jedoch und westlich davon, wo vom Salzgehaltsminimum bis zum Boden das M-Wasser in starker Schichtung vorhanden ist, müssen wir, da die unteren Schichten des M-Wassers auf jeden Fall in westlicher Richtung fließen, annehmen, daß die Stromgrenze zum mindesten in der thermohalinen Grenzschicht, wenn nicht sogar dicht unterhalb des Salzgehaltsminimums liegt. Wir kommen dann zu dem Ergebnis, daß beide Grenzschichten, sowohl die des Stromes als auch die zwischen Z- und dem reinen Mittelmeerwasser, in der Richtung des Oberstromes ansteigen, daß der Anstieg der thermohalinen Grenzfläche aber schneller erfolgt, als der der Stromgrenzfläche, und daß vermutlich beide sich im mittleren Gebiet der Straße schneiden (s. Fig. 9).

Dieser Befund stimmt gut mit den Untersuchungen von L. Möller[36]) überein, welcher im Bosporus und Dardanellen ganz ähnliche Verhältnisse festgestellt hat. Im Oberstrom werden also Teile des Mittelmeerwassers wieder ins Mittelmeer, im Unterstrom Teile des Z-Wassers in den Ozean zurücktransportiert.

Die Fernwirkung der Straße von Gibraltar im Golf von Cadiz.

Die salzreiche Boden- bezw. Tiefenschicht im Golf von Cadiz wird durch das M-Wasser gegeben, welches infolge seiner Schwere zunächst am Boden lagert und weiter westlich, wenn seine Konzentration durch den Mischungsprozeß verringert ist, sich vom Boden abhebt, um vom kühlen, salzarmen atlantischen Bodenwasser — im folgenden B-Wasser genannt — unterlagert zu werden. Da aber nicht zu entscheiden ist, wie weit die Beeinflussung dieser salzreichen Wasserschicht durch den Nordatlantischen Tiefenstrom geht, wollen wir den Begriff des M-Wassers dahin erweitern, daß wir es als die Wasserart definieren, welche im Nordatlantischen Tiefenstrom die Fernwirkung der Straße von Gibraltar zeigt.

Diese Fernwirkung im Golf von Cadiz ist auf Figur 11 und 12 dargestellt. Die Karten im Maßstabe 1 :4 Millionen sind flächentreu. Sie sind Verkleinerungen der Arbeitskarten im Maßstabe 1 : 1,5 Millionen. Die Karten in der linken oberen Ecke zeigen die Stationsverteilung. Diese Verteilung ist im Spätsommer recht zahlreich, während sie im Spätwinter nicht so gut ist. Die Auswertung der Tiefenlagen des Salzgehaltsmaximums gibt bis zur Linie der Ablösung desselben vom Boden eine Tiefenkarte (s. Fig. 10). Die Isobathen für alle 200 m zeigen ein ziemlich regelmäßig geformtes Becken, dessen Böschungen im NW. und S. steiler sind als gegen die Straße von Gibraltar hin. Besonders klein werden die Böschungswinkel in der N.-W.-Ecke des Golfes von Cadiz.

Die Karten in der rechten oberen Ecke zeigen die Tiefenlage des M-Wassers nach der Ablösung vom Boden (punktierte Linie). Die Isobathen wurden für alle 200 m gezeichnet. Es wurde aber noch die 1300 m-Linie beigefügt. Der Verfasser mußte sich damit begnügen, eine mittlere Linie der Ablösung festzustellen, da das Material keine Unterscheidungen zwischen Spätsommer und Spätwinter in dieser Beziehung möglich machte. Es ist jedoch anzunehmen, daß im Spätwinter, zur Zeit der größeren Dichte im M-Wasser, dasselbe noch weiter westlich am Boden zu finden ist, während im Spätsommer infolge der geringeren Dichte die Ablösung vom Boden weiter östlich erfolgt. Im Zusammenhang damit steht die Tatsache, daß nach der Ablösung vom Boden das M-Wasser im Spätwinter auf einer großen Fläche in Tiefen von 1300—1400 m liegt, um dann erst langsam in geringere Tiefen emporzusteigen. Im Spätsommer dagegen nimmt

die Fläche von 1300—1400 m nur einen schmalen Streifen ein. Eine große in westlicher Richtung folgende Fläche von 1100—1200 m Tiefe weist darauf hin, daß der Anstieg jetzt bedeutend rascher erfolgt.

Die Isothermen, gezeichnet für alle 1°, und die Isohalinen, gezeichnet für alle 0,5 ‰ können infolge der starken Verkleinerung Einzelzüge für das Gebiet der Straße von Gibraltar selbst nicht wiedergeben. So wird im Gegensatz zu den vorliegenden Darstellungen über „The Ridge" und über den Schelfflächen der spanischen und afrikanischen Küste kein M-Wasser mehr liegen, denn seine obere Grenze liegt im allgemeinen bei rund 100 m. Im Spätsommer treten in der Salzgehaltsverteilung zwei morphologisch und dynamisch bedingte Hauptrichtungen der Ausbreitung des M-Wassers hervor. Über den beiden Rinnen, wo die Zufuhr von Z-Wasser am größten ist, geht auch die Verminderung der Konzentration des M-Wassers sehr rasch vor sich. Diese Bedingung kommt über den Rinnen dadurch zum Ausdruck, daß die Isohalinen und Isothermen nach Osten geführt werden. Die ablenkende Kraft der Erdrotation bewirkt, daß der Nachschub von Z-Wasser über der Südrinne bedeutend kräftiger erfolgt als über der Nordrinne. Das kommt darin zum Ausdruck, daß wir verschiedene Isothermen und Isohalinen über der Achse der Südrinne durch die Straße hindurchführen. Westlich von „The Ridge" über den von Westen hereinziehenden submarinen Erhebungen liegt eine Zunge des M-Wassers, welche zunächst nur eine geringe Verminderung der Konzentration aufweist, da die Zufuhr von Z-Wasser durch diese Bänke gehemmt wird. Erst weiter westlich, wo „The Ridge" auf den Nachschub von Z-Wasser keinen Einfluß mehr hat, geht der Vermischungsprozeß wieder lebhafter vor sich, so daß auf 7° W. zwischen 35° und 36° N. schon Werte unter 36,0 ‰ ereicht werden. Im NO. und über der Nordrinne wird der Einfluß des Z-Wassers auf das M-Wasser sehr klein. Wir finden deshalb hier, sowohl im Spätsommer als im Spätwinter, eine Hauptrichtung der Ausbreitung des M-Wassers, welche längs der iberischen Südküste das M-Wasser unter verhältnismäßig geringen Verlusten seiner Konzentration in den Atlantischen Ozean hineinführt. Trotzdem also die Südrinne größere Tiefen als die Nordrinne aufweist, bilden gerade infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation die Teile des M-Wassers, welche durch die Nordrinne kommen, den Grundstock für die weitere Ausbreitung desselben im Golf von Cadiz und im Atlantischen Ozean.

Wie früher dargelegt wurde, muß der jährliche Gang der Temperatur und des Salzgehaltes im M-Wasser entgegengesetzt dem der Oberfläche sein. Diesen Satz sehen wir besonders klar bestätigt, wenn wir die Temperaturen und Salzgehalte zu den beiden Jahreszeiten in der NW.-Ecke des Golfes von Cadiz betrachten. Im Spät-

winter finden wir dort Werte von mehr als 38,0 ‰ und mehr als 14 , während wir im Spätsommer nur Werte von 37,0—37,5 ‰ und 13 bis 14° erkennen.

Die Fernwirkung der Straße von Gibraltar im Atlantischen Ozean (außerhalb des Golfes von Cadiz).

Bei der Bearbeitung des Problems der Fernwirkung der Straße von Gibraltar zeigte sich, daß ein gewisser Zusammenhang zwischen Ausbreitung des M-Wassers und der Bodentopographie vorhanden zu sein scheint. Es wurde deshalb von einer im Institut für Meereskunde bearbeiteten vorläufigen Tiefenkarte des Atlantischen Ozeans eine Pause angefertigt und der Arbeit beigefügt.

Die in Tabelle 2 angeführten Werte wurden in Arbeitskarten im Maßstab von 1 : 10 Millionen eingetragen. Die dazu benötigten Kartenausschnitte des Atlantischen Ozeans wurden nach einer im selben Institut berechneten und entworfenen flächentreuen Karte gepaust. Für die Arbeit wurden die Karten auf den Maßstab 1 : 20 Millionen verkleinert. Die Konstruktion der Isothermen und Isohalinen liefert uns gewissermaßen die horizontale Hauptachse der Ausbreitung des M-Wassers in flächenhafter Darstellung, während uns gleichzeitig die Karte der Tiefenlagen die vertikalen Schwankungen derselben angibt. Zur Konstruktion der Isobathen für alle 100 m, der Isothermen für jeden Grad und der Isohalinen für alle 0,2 ‰ sei zunächst bemerkt, daß sie natürlich in gewissem Maße durch die Verteilung der Stationen beeinflußt ist. Da diese Verteilung doch recht ungleichmäßig ist, muß das Bild der Fernwirkung der Straße von Gibraltar, wie es sich in unserer Darstellung ergibt, immer noch mit gewisser Kritik betrachtet werden. Zumal die Zunge des M-Wassers, die sich in nordwestlicher Richtung erstreckt, beruht nördlich von 45° N. auf recht wenigen Angaben älterer Stationen, so daß gerade hier bei Verwendung neuen Stationsmaterials noch wesentliche Modifikationen entstehen werden. Auch in den anderen Zungen des M-Wassers werden sich sicher noch Detaillierungen in der Führung der Isolinien ergeben, ohne daß aber dabei das Grundsätzliche unserer Darstellung berührt werden dürfte. Um weitere Anhalte in der Konstruktion der Isothermen und Isohalinen zu gewinnen, wurden wiederholt die ozeanographischen Horizontalschnitte und Profile, welche von Helland-Hansen und F. Nansen [34]) entworfen worden sind, benutzt.

Über die zeitliche Gruppierung der Stationen läßt sich sagen, daß es sich im allgemeinen um Messungen handelt, welche aus der zweiten Jahreshälfte stammen. Nur die Meteorstationen geben Werte des ersten Jahresviertels an. Sie liegen aber nicht mehr im Bereich der

Fernwirkung der Straße von Gibraltar und wurden nur benutzt, um einen ungefähren Anschluß an den reinen Tiefenstrom zu gewinnen. Infolgedessen dürfte der hierbei gemachte Fehler für das zur Diskussion stehende Problem nicht so erheblich ins Gewicht fallen.

Die Karte 16 gibt uns die Tiefenlagen des Salzgehaltsmaximums als eine wellige Fläche, in welcher die auf den anderen Karten dargestellten Isothermen und Isohalinen liegen. Sie ist in erster Annäherung abhängig von der Mächtigkeit des Bodenstromes, welcher infolge der größeren Nähe des Reliefs der kinematischen Wirkung der Bodenkonfiguration in bedeutend höherem Maße ausgesetzt ist als das M-Wasser. So wird in den direkten Bodenschichten das B-Wasser sich vollständig der Bodentopographie anpassen und allen Einsenkungen und Erhebungen, so weit es die letzteren noch übersteigt, folgen. Auch die obersten Schichten des B-Wassers werden noch gewisse Analogien zur Bodenkonfiguration erkennen lassen. Sie werden also die großräumige Veränderung derselben noch zu einem gewissen Prozentsatz zeigen. Es wird z. B. über Schwellen die Mächtigkeit des Bodenstromes verringert werden. Diese Verringerung ist aber nicht stark genug, um nicht doch noch die Tiefenlagen des M-Wassers zu beeinflussen. Wir erkennen deshalb, daß das Salzgehaltsmaximum über allen Schwellenzügen geringere Tiefen aufweist als über den Tiefseebecken. Bei einer mittleren Tiefenlage von 1100 m steigt es über der Azoren-Madeira-Schwelle zu Tiefen von weniger als 1100 m auf, während über dem spanischen Becken und dem Canarenbecken Werte von mehr als 1200 m vorhanden sind. Auch über der mittelatlantischen Schwelle wird die Tiefenlage erheblich verringert. Über dem Azorenplateau finden wir sogar Tiefen von nur 700—800 m. Eine obere Grenze der Erkennbarkeit von Salzgehaltsmaxima im M-Wasser dürfte in der Nähe der diesen Schwellen aufgesetzten Inselgruppen mit etwa 600—700 m anzusetzen sein. Längs des europäischen Kontinentalblockes jedoch scheint es, daß im allgemeinen bei Bodentiefen von weniger als 900 m Fernwirkungen der Gibraltarstraße nicht mehr zu erkennen sind. Unter der Annahme einer mittleren Bodentiefe von 4000 m mit Veränderungen um $\pm$ 1000 m findet man, daß das M-Wasser bei einer mittleren Tiefenlage von 1100 m diese Veränderungen noch zu 10—15 % wiedergibt.

Wie wir früher gefunden haben, liegt infolge der ablenkenden Kraft der Erdrotation die Hauptrichtung der Ausbreitung des M-Wassers im Golf von Cadiz hauptsächlich im nördlichen Teile dieses Beckens. So weist diese Wasserart am Kap St. Vincent noch Werte von 36,4—36,5‰ und 11,5—12,0° auf, während kurz westlich von Casablanca der Salzgehalt nur noch 35,8 ‰ und die Temperatur nur noch 9,5° beträgt. Schon kurz nach dem Einströmen des M-Wassers in den Atlantischen Ozean, aus dem Golf von Cadiz heraus, können wir eine Unterteilung in zwei Hauptrichtungen der Ausbrei-

tung des M-Wassers feststellen, von denen die eine längs der Hänge des Kontinentalblockes in das spanische Becken hineinführt. Scheinbar entgegen allen theoretischen Erwägungen sind jedoch die hohen Werte der Temperatur und des Salzgehaltes in der zweiten Hauptrichtung, welche über den großen Tiefen der Cadizbucht des Canarenbeckens parallel dem Schwellenzuge Madeira—Kap St. Vincent verläuft, noch in größeren Entfernungen vom Kap St. Vincent festzustellen als in der ersten. So beträgt die weiteste gradlinige Entfernung der 36,2-Isohaline von diesem Kap über der Cadiz-Bucht 700 km, während sie über dem spanischen Becken nur 450 km groß ist. Im weiteren Verlauf der Ausbreitung des M-Wassers gegen SW. erfolgt auf der Linie Madeira—Canaren sehr dichte Scharung der Isothermen und Isohalinen. Trotzdem hier das M-Wasser erhebliche Verluste seiner Konzentration erleidet, können wir unter Anwendung unserer früher besprochenen Grenzsetzung (s. S. 17) die Fernwirkung der Straße von Gibraltar in dieser Richtung im Canarenbecken noch in 22° N. bei den Isothermen 6,0 bis 6,5° feststellen. Wie erwähnt, liegt über dem Schwellenzug Madeira—St. Vincent ein Gebiet, in welchem die Konzentrationsverringerung besonders lebhaft vor sich geht, so daß östlich der Madeira-Gruppe schon Werte von 35,6 ‰ und 9,5°, also ähnliche Werte wie kurz westlich von Casablanca, erreicht werden. Die durch dieses Gebiet abgeteilte zweite Hauptrichtung des M-Wassers ist parallel den Hängen des spanischen Kontinentalblockes mit kleinen Abzweigungen zur Bicaya, zum Kanal und zum St. Georgs Channel hin bis in die hohen Nordbreiten zu verfolgen. Größere Abzweigungen, welche ihrerseits die hohen Werte der Temperatur und des Salzgehaltes weit in den Atlantischen Ozean hinein vorschieben, sind nur in westlicher Richtung vorhanden. So erkennen wir, von der portugiesischen Küste ausgehend, eine weitere Zunge kräftigen Vordringens des M-Wassers, welche zur Schwelle Azoren—Madeira führt. Sie wird von einer anderen, welche vom Kap Finisterre aus etwa über dem 44. Breitengrad nördl. Br. nach Westen vorstößt, durch einen Streifen stärkerer Verringerung der Konzentration im M-Wasser über dem 42. Breitengrad getrennt. Diese Hauptrichtung zur Schwelle Azoren—Madeira hin scheint für die Ausbreitung des M-Wassers besonders günstig zu sein; denn hier beträgt die gradlinige größte Entfernung der 35,7-Isohaline, welche durch die vorhandenen Stationen gut belegt ist, vom Kap St. Vincent aus etwa 1850 km, während sich in nördlicher Richtung nur 1250 km ergeben. Eine nochmalige Unterteilung dieser Zunge findet an der Azoren—Madeira-Schwelle statt. Über dem zentralen Teil dieser Schwelle liegen die Isohalinen und Isothermen dicht beieinander, während sie zu den Inselgruppen hin Abstände von mehr als 400 km aufweisen. Damit entstehen aus dieser Hauptrichtung der Ausbreitung, der einzigen, auf welche auch schon die früheren Karten hinweisen, zwei neue, welche südwestlich der Azoren und nordwestlich der

Madeira-Gruppe aus dem spanischen Becken ausstrahlen. Der Zustrom von M-Wasser in das Canaren-Becken erfolgt also nicht nur auf dem direkten Wege Gibraltarstraße—Cadizbucht—Canarenbecken, sondern auch auf dem Umwege über das spanische Becken. Infolgedessen liegt auch die Fernwirkung der Straße von Gibraltar im letzteren Falle nördlicher als bei dem direkten Zustrom. Die Isothermen 6,0°—6,5° liegen bei der Hauptrichtung nordwestlich der Madeira-Gruppe schon in etwa 27° N., während wir sie bei der über der Cadizbucht erst 5 Breitengrade südlicher gefunden haben. Zum zentralen Teil der Azoren—Madeira-Schwelle hin sind diese Isothermen sogar schon auf 29° N. zu finden. Die breite Zunge des M-Wassers südöstlich der Azoren läßt sich infolge der spärlichen Stationsverteilung nicht so genau feststellen. Es scheint, als ob das M-Wasser noch, wenn auch in sehr geringem Maße, in das nordamerikanische Becken eindringt und so an der Zusammensetzung des Tiefenstromes der Westmulde einen kleinen Anteil gewinnt. In der kräftigeren Ausbildung dieser Zunge gegenüber der Madeira-Zunge macht sich die ablenkende Kraft der Erdrotation geltend.

Über dem Azorenplateau selbst liegt ein Gebiet, in welchem die Entfernungen der Isolinien ähnlich wie östlich der Madeira-Gruppe kleiner als 200 km werden. Das sind für die durchschnittlichen Verhältnisse auf unseren Karten recht geringe Werte. Nördlich davon über dem 42. Breitengrade nördlicher Breite liegt ein Streifen, in dem die Verringerung der Konzentration des M-Wassers sehr rasch vor sich geht; denn hier beträgt die gradlinige Entfernung der relativ niedrigen Werte von 35,6 ‰ und 8,0° vom Kap St. Vincent aus nur 900 km. Die Isolinien dieser beiden Zahlen sind in diesen Breiten schon 600 km westlich des spanischen Festlandes zu finden. Die zu diesem Streifen parallel gelagerte Zunge des M-Wassers über dem 44. Breitengrad führt die beiden letztgenannten Isolinien über einem submarinen Gebirge, das zu Tiefen von weniger als 4000 m aufragt, wieder um 500 km nach Westen, fast zur mittelatlantischen Schwelle zurück. Sie biegt in ihrem weiteren, allerdings recht zweifelhaften Verlauf an den Hängen der mittelatlantischen Schwelle nach Norden ab. Auch in dem sich nordöstlich anschließenden Gebiet geht die Konzentrationsverringerung, nach der den Längengraden fast parallelen Führung der Isolinien zu urteilen, recht kräftig vor sich. Die mittlere Achse dieses Streifens liegt auf 23° W. Er liegt somit fast senkrecht auf dem Streifen gleicher Art, welcher auf dem 42. Breitengrad ins spanische Becken vorstößt. Der Beginn der starken Konzentrationsverringerung des M-Wassers in diesen beiden Gebieten ist schon 200 km westlich des Kap Finisterre zu erkennen. Die über den Hängen des Kontinentalblockes liegende Hauptrichtung verfrachtet, wie schon erwähnt, M-Wasser vom Kap St. Vincent aus in breiter Zunge, die weit nach Norden vorstößt, bis in die Gegenden westlich Schottlands. Vom Festlande selbst bleibt sie immer durch ein Gebiet getrennt, in

welchem die Isolinien scharf nach Süden zurückzuführen sind. Eine Eigentümlichkeit gerade in dieser Zunge besteht darin, daß auf einer Linie, welche von Irland nach SW. geht, eine Reihe von Stationen liegen, welche kein Salzgehaltsmaximum mehr aufweisen, während nördlich dieser Linie wieder Stationen mit deutlich erkennbarem Maximum vorhanden sind. Aber auch die Absolutwerte der Temperatur und des Salzgehaltes lassen diese Punkte isoliert erscheinen. Eine Erklärung dafür bietet die Annahme, daß es hier, wie an allen Fronten, wo sich gleiche Medien verschiedener Dichte gegenüberstehen, zur Ablösung großer Wirbel kommt, welche dann in unserem Spezialfalle nordwärts wandern. Letzte Spuren dieser Wirbel und damit der Fernwirkung der Straße von Gibraltar in dieser Richtung sind von F. Nansen[35]) noch im „Rockall-Channel" gefunden worden.

Um einen zahlenmäßigen Überblick über die einzelnen Vorstöße des M-Wassers in den Atlantischen Ozean zu gewinnen, sind in der folgenden Tabelle die gradlinigen Entfernungen der 35,4-Isohaline in den einzelnen Hauptrichtungen vom Kap St. Vincent aus zusammengefaßt:

1.	Kap St. Vincent—Canaren:	1150 km
2.	Kap St. Vincent — nordwestlich der Madeira-Gruppe — 27° N., 24° W.:	1900 „
3.	Kap St. Vincent — südl. der Azoren — 31° N., 37° W.:	2700 „
4.	Kap St. Vincent — Kap Finisterre — über dem 44. Breitengrad — 45,5° N., 27° W.:	1800 „
5.	Kap St. Vincent — Kap Finisterre — 51,5° N., 15,5 W.:	1600 „
5. a)	Kap St. Vincent — Kap Finisterre — bis zum Zentrum des Wirbels auf 56° N., 13° W. (‰ : 35,3—35,4):	2000 „

Die Reihenfolge der Werte ist nach dem gleichen Schema orientiert, wie wir es bei der vorangegangenen Diskussion angewandt haben: von den Canaren in einem nach Osten offenen Bogen nach Irland. Wir erkennen, daß das Maximum der Entfernung nicht, wie eigentlich von vornherein zu erwarten ist, in der Hauptrichtung gegen Norden liegt, sondern daß die westliche Richtung (Nr. 3) bevorzugt wird. Es kommt ferner hinzu, daß der Wert in südwestlicher Richtung (Nr. 2) größer ist als der in nördlicher Richtung (Nr. 5). Diese eigenartige Verteilung ist leicht zu verstehen, wenn wir uns der in der Einleitung gemachten Feststellung erinnern, daß die Fernwirkung der Straße von Gibraltar gewissermaßen nur eine Überlagerung des nordatlantischen Tiefenstromes ist. Innerhalb der Schicht des Tiefenstromes wären die zonalen thermohalinen Gradienten vermutlich sehr klein, während, wenn wir uns auf die Zirkulation des Atlantischen Ozeans nach G. Wüst[36]) beziehen, die meridionalen Gradienten dieser Schicht von etwa 30° N. aus gesehen gegen Norden erheblich stärker sind als gegen Süden. Die Fernwirkung der Straße von Gibraltar muß

sich diesen ihr von vornherein vorgeschriebenen Bahnen anpassen. Der Vermischungsprozeß zwischen M-Wasser und dem Tiefenstromwasser in Breiten von 35° N. wird sich also infolge der geringen zonalen thermohalinen Verschiedenheiten nicht so deutlich bemerkbar machen wie gegen Süden, wo das M-Wasser auf relativ kleine Distanz schon wesentlich verminderte Konzentrationen des Tiefenstromes der Ostmulde vorfindet. Sehr schnell jedoch geht die Erniedrigung der thermohalinen Komponenten des M-Wassers gegen Norden vor sich, wo ihm auf 60° N. direkt eine Kaltwasserfront entgegensteht. Daß dennoch die irische Hauptrichtung so stark betont ist, liegt daran, daß durch den Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation die Hauptmasse des M-Wassers in nördlicher Richtung verfrachtet wird.

Infolge der in jüngster Zeit erfolgten Vermehrung der Stationen in dem Gebiet und in den Tiefen, welche die Fernwirkung der Straße von Gibraltar zeigen, und indem versucht wurde, diese Fernwirkung bei den einzelnen Stationen möglichst eingehend zu bestimmen, war es möglich, unsere Kenntnisse über die Ausbreitung des aus dieser Meeresstraße kommenden Unterstromes im Atlantischen Ozean zu erweitern und zu verbessern. Es konnte gezeigt werden, daß dieser Unterstrom zu einem Glied der stratosphärischen Zirkulation wird und als solches eine Verstärkung des Tiefenstromes der Ostmulde bedeutet. Die bei dieser Untersuchung gefundenen Ergebnisse dürften nicht nur für das Studium des Tiefenstromes im Atlantischen Ozean, sondern auch für das der stratosphärischen Zirkulation dieses Meeres von Interesse sein.

Anmerkungen.

[1]) O. Jessen. Die Straße von Gibraltar. Berlin 1927.

[2]) J. P. Jacobsen. Contribution to the Hydrography of the North-Atlantic. Kopenhagen 1929.

[3]) G. Wüst. Der Ursprung der Atlantischen Tiefenwässer. Sonderbd. d. Ztschr d. Ges. f. Erdkd. zur Hundertjahrfeier, Berlin 1928.

[4]) L. Möller — A. Merz. Veröff. d. Inst. f. Meereskd. zu Berlin, Heft 18. Hydrographische Untersuchungen im Bosporus und Dardanellen. Berlin 1928.

[5]) O. Jessen. Die Straße von Gibraltar. Berlin 1927.

[6]) P. Jevenois. El Tunnel submariño del Estrecho de Gibraltar Madrid 1928.

[7]) Lists of Oceanic Depths. Hydrogr. Departm. o. Admiralty, London seit 1888.

[8]) A. Ramalho. Rapp. et Proc. — Verb. LXX. 1931.

[9]) J. P. Jakobsen. Contribution to the Hydrography of the North-Atlantic. Kopenhagen 1929.

[10]) R. de Buen. Rapp. et Proc. — Verb. 1927.

[11]) G. Wüst. Der Ursprung der Atlantischen Tiefenwässer. Sonderbd. d. Ztschr d. Ges. f. Erdkd. zur Hundertjahrfeier, Berlin 1928.

[12]) Helland-Hansen u. F. Nansen. The Eastern North-Atlantic. Geofysiske Publicasjoner. Vol. IV. Oslo 1927.

[13]) A. Ramalho. Rapp. et Proc. Verb. LXX. 1931.

[14]) Report on the Dan. Oceanograph. Expedit. 1908/10 to the Mediterranean and adjeicent Seas.

[15]) A. Ramalho. Rapp. et Proc. — Verb. LXX. 1931.

[16]) R. de Buen. Rapp. et Proc. — Verb. 1927.

[17]) J. P. Jakobsen. Contribution to the Hydrography of the North-Atlantic. Kopenhagen 1929.

[18]) Helland-Hansen u. F. Nansen. The Eastern North-Atlantic. Geofysiske Publicasjoner. Vol. IV. Oslo 1927.

[19]) Die Forschungsreise S. M. S. „Möwe" im Jahre 1911. Hamburg 1914.

[20]) W. Brennecke. Die ozeanogr. Arbeiten der Dtsch.-Antarkt. Expedition 1911/12. Hamburg 1921.

[21]) J. P. Jacobsen. Contribution to Hydrogr. of the Atlantic. Mecldelser fra Komm. f. Havcendersogelser. Hydrografi. Bd. II, 5. Kopenhagen 1916.

[22]) Aus den mir freundlichst zur Verfügung gestellten Originalkurven der Dtsch.-Atlant. Expedit., welche von Herrn Dr. Wüst entworfen wurden.

[23]) Report on the Dan. Oceanograph. Expedit. 1908/10 to the Mediterranean and adjeicent Seas.

[24]) J. Schmidt. Oceanography of the Gibraltar Region. Nature. Bd. 109.

[25]) R. de Buen. Rapp. et Proc. — Verb. 1927.

[26]) G. Schott. Die Wasserbewegungen im Gebiet der Gibraltarstraße. Journ. d. Cons. Perm. Intern. pour l'Explor. de la Mer. Vol. III. Nr. II. 1928.

[27]) A. Ramalho. Rapp. et Proc. — Verb. LXX. 1931.

[28]) O. Jessen. Die Straße von Gibraltar. Berlin 1927.

[29]) A. Defant. Die Bewegungen u. der thermohaline Aufbau der Wassermassen in Meeresstraßen. Stzgsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. Physik.-mathem. Klasse. 1930, XIV. Berlin 1930.

[30]) Handbuch der N. u. W.-Küsten Spaniens u. Portugals. II. Teil. Berlin 1913.

[31]) J. Hort. Die Tiefseeexpedition der „Michael Sars" nach dem Nordatlantik im Sommer 1910. Intern. Rev. f. Hydrobiol. u. Hydrograph. 1913, Abschnitt VI.

[32]) A. Defant. Die Bewegungen u. der thermohaline Aufbau der Wassermassen in Meeresstraßen. Stzgsber. d .Preuß. Akad. d. Wissensch. Physik.-mathem. Klasse. 1930, XIV. Berlin 1930.

[33]) G. Schott. Die Wasserbewegungen im Gebiet der Gibraltarstraße. Journ. d. Cons. Perm. Intern. pour l'Explor. de la Mer. Vol. III. Nr. II. 1928.

[34]) Helland-Hansen u. F. Nansen. The Eastern North-Atlantic. Geofysiske Publicasjoner. Vol. IV. Oslo 1927.

[35]) F. Nansen. The Waters of the North-Eastern North-Atlantic. Intern. Rev. f. Hydrobiol. u. Hydrogr. 1913. Abschnitt VI.

[36]) G. Wüst. Der Ursprung der Atlantischen Tiefenwässer Sonderbd. d. Ztschr d. Ges. f. Erdkd. zur Hundertjahrfeier, Berlin 1928.

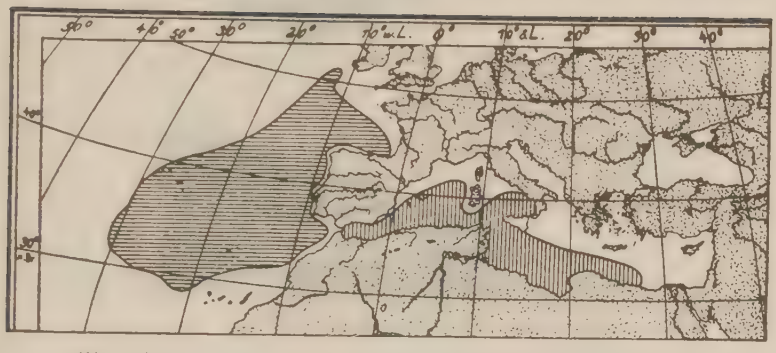


Abb. 9. Die Fernwirkungen der Straße von Gibraltar. Maßstab etwa 1 : 55 500 000.
Senkrecht schraffiert: Die Ausbreitung des salzarmen „atlantischen" Oberstroms im Mittelmeer.
Wagerecht schraffiert: Die Ausbreitung der salzreichen „mittelmeerischen" Zwischenschicht im Atlantischen Ozean. Die schraffierte Fläche entspricht dem Gebiet mit > 35,5 ‰ Salzgehalt bei rund 1000 m Tiefe.

Fig 1 (nach Jessen).

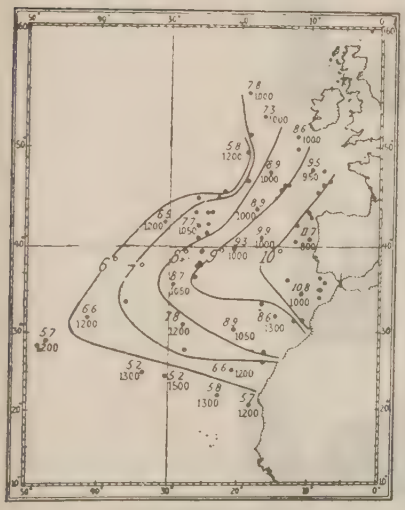


Fig. 57. Temperature.

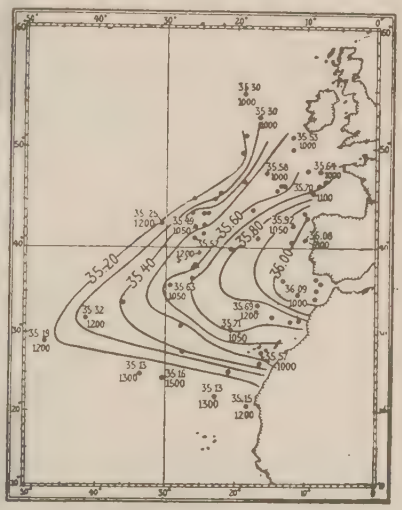


Fig. 58. Salinity.

Fig. 2 (nach Jacobsen).

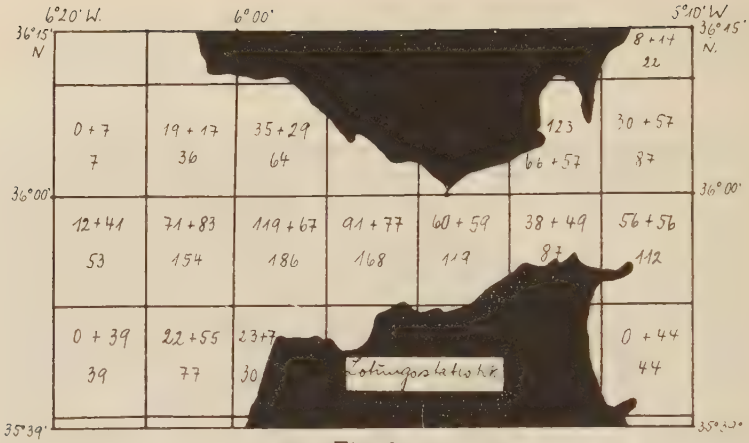

6°20' W.
6°00'
5°10' W
36°15' N
36°15' N.
36°00'
36°00'
35°39'
8 + 14
22
0 + 7
7
19 + 17
36
35 + 29
64
123
66 + 57
30 + 57
87
12 + 41
53
71 + 83
154
119 + 67
186
91 + 77
168
60 + 59
119
38 + 49
87
56 + 56
112
0 + 39
39
22 + 55
77
23 + 7
30
0 + 44
44
Lotungsstatistik

Fig. 3.

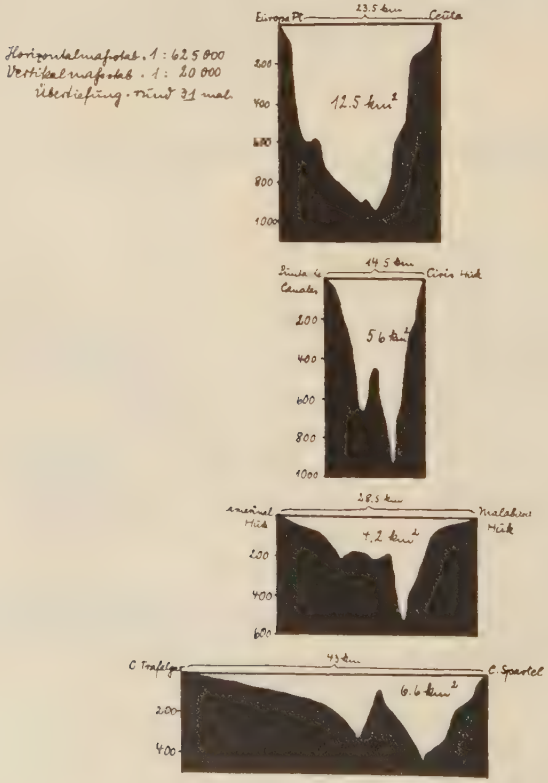

Horizontalmaßstab. 1 : 625 000
Vertikalmaßstab. 1 : 20 000
Übertiefung. rund 31 mal.
Europa Pt.
23.5 km
Ceuta
200
400
600
800
1000
12.5 km²
14.5 km
Ciris Hük
Canales
200
400
600
800
1000
5.6 km²
28.5 km
Malabar Hük
4.2 km²
200
400
600
43 km
C. Trafalgar
C. Spartel
6.6 km²
200
400

Fig. 4.

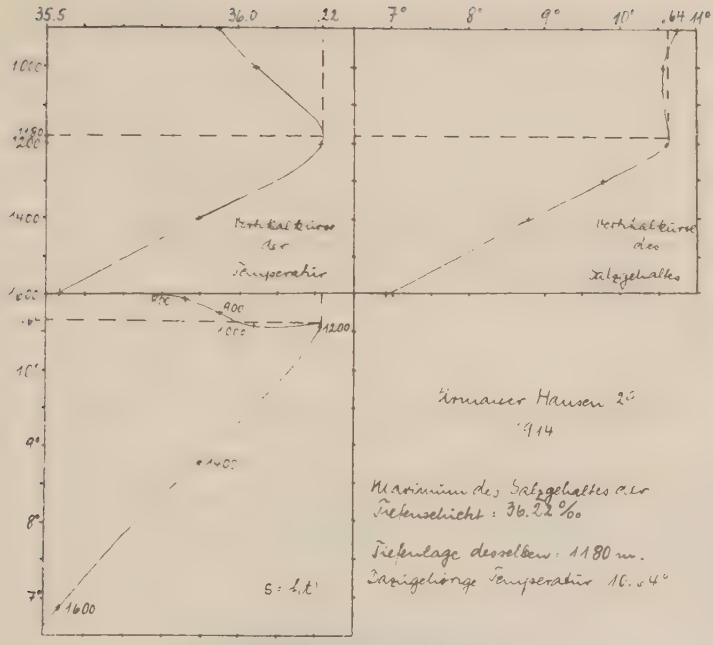

35.5
36.0
.22
7°
8°
9°
10°
.64
11°
1000
1180
1200
1400
1600
Vertikalkurve der Temperatur
Vertikalkurve des Salzgehaltes
900
1000
1200
10°
9°
8°
7°
1400
1600
s = f(t)
Maximum des Salzgehaltes der Tiefenschicht: 36.22 ‰
Tiefenlage desselben: 1180 m.
Dazugehörige Temperatur 10.64°

Fig. 6.

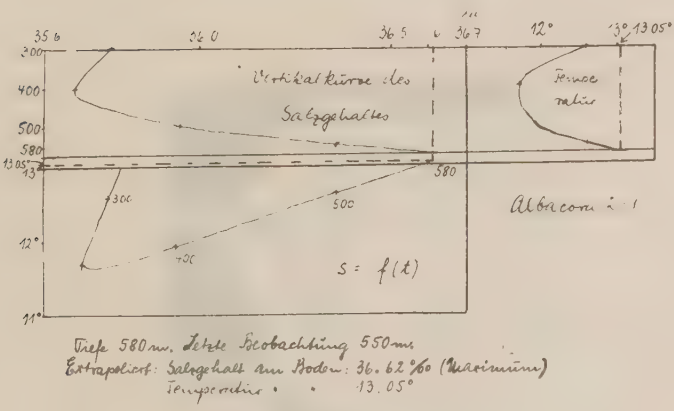

35.6
36.0
36.5
36.7
12°
13°
13.05°
300
400
500
580
13.05°
13°
Vertikalkurve des Salzgehaltes
Temperatur
580
300
500
400
12°
11°
s = f(t)
Tiefe 580 m. Letzte Beobachtung 550 m.
Extrapoliert: Salzgehalt am Boden: 36.62 ‰ (Maximum)
Temperatur " " 13.05°

Fig. 7.

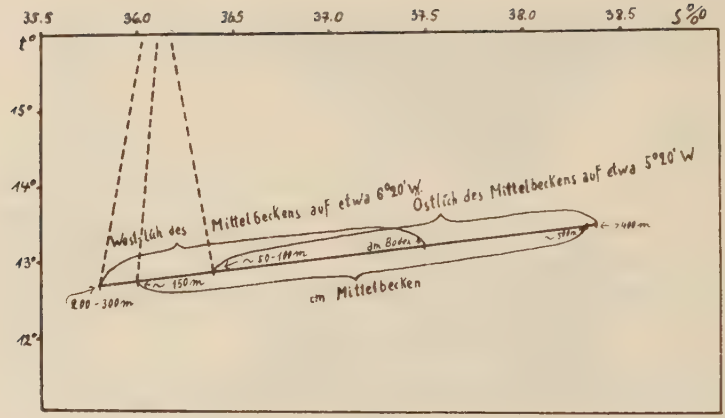


Fig. 8.

Fig. 9.

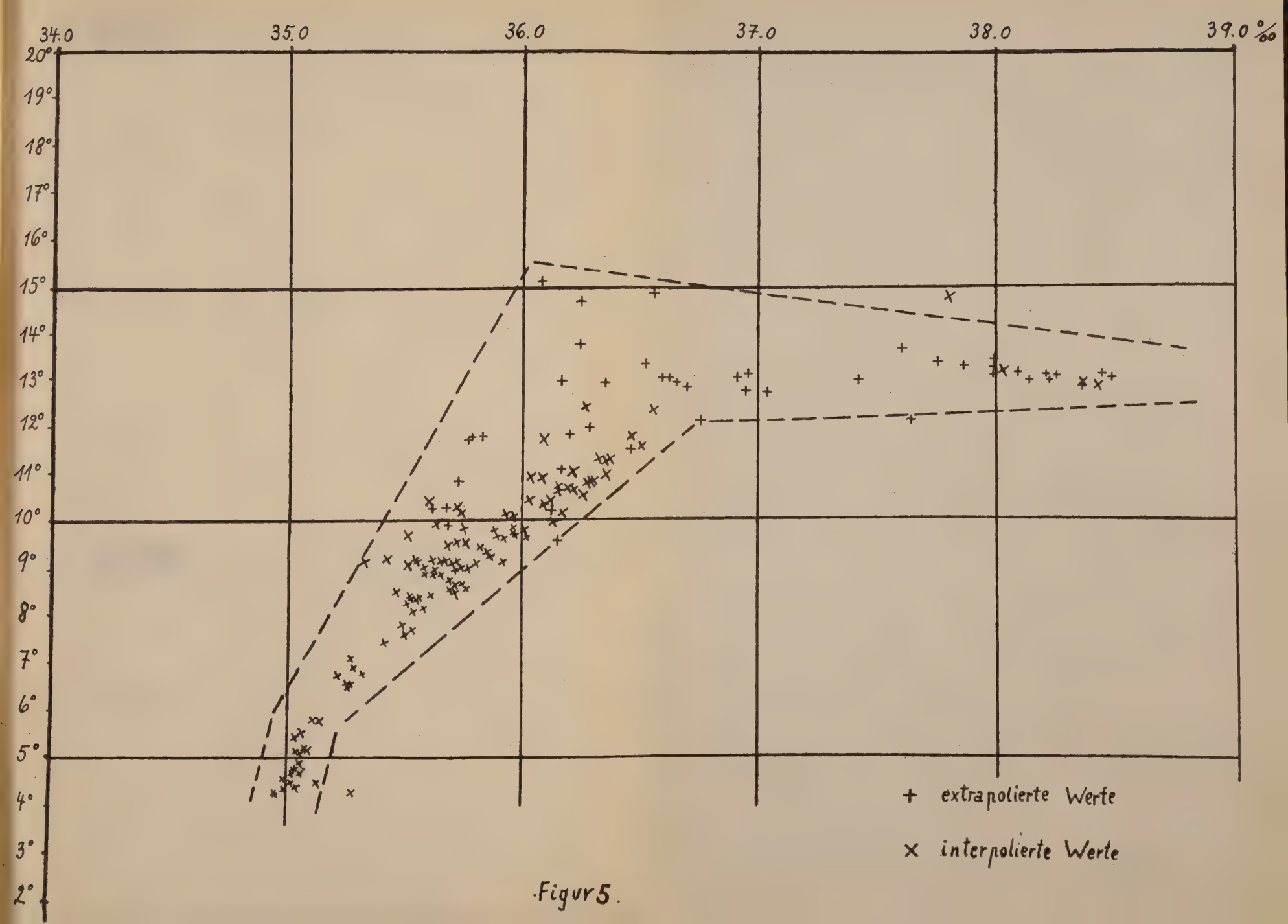
Fig. 10.

Lebenslauf.

Am 9. Oktober 1909 wurde ich zu Berlin geboren. Nach Besuch des Friedrichs-Realgymnasiums zu Berlin, wo ich Michaelis 1928 die Reifeprüfung bestand, studierte ich an der Universität zu Berlin die Naturwissenschaften. Mein besonderes Interesse galt der Geophysik.

Meinen Lehrern, die mir bei Abfassung meiner Dissertation stets mit ihrer Erfahrung und ihrem Rate zur Seite standen, insbesondere den Herren Prof. Dr. A. Defant und Prof. Dr. G. Wüst, gebührt aufrichtigster Dank. In diesem Zusammenhange sei auch meines Freundes Dr. R. Bitterling gedacht, der mir Studien- und Lebensweg wies.

Heinz Danneberg.


34.0
35.0
36.0
37.0
38.0
39.0 ‰
20°
19°
18°
17°
16°
15°
14°
13°
12°
11°
10°
9°
8°
7°
6°
5°
4°
3°
2°
+ extrapolierte Werte
× interpolierte Werte

Figur 5.

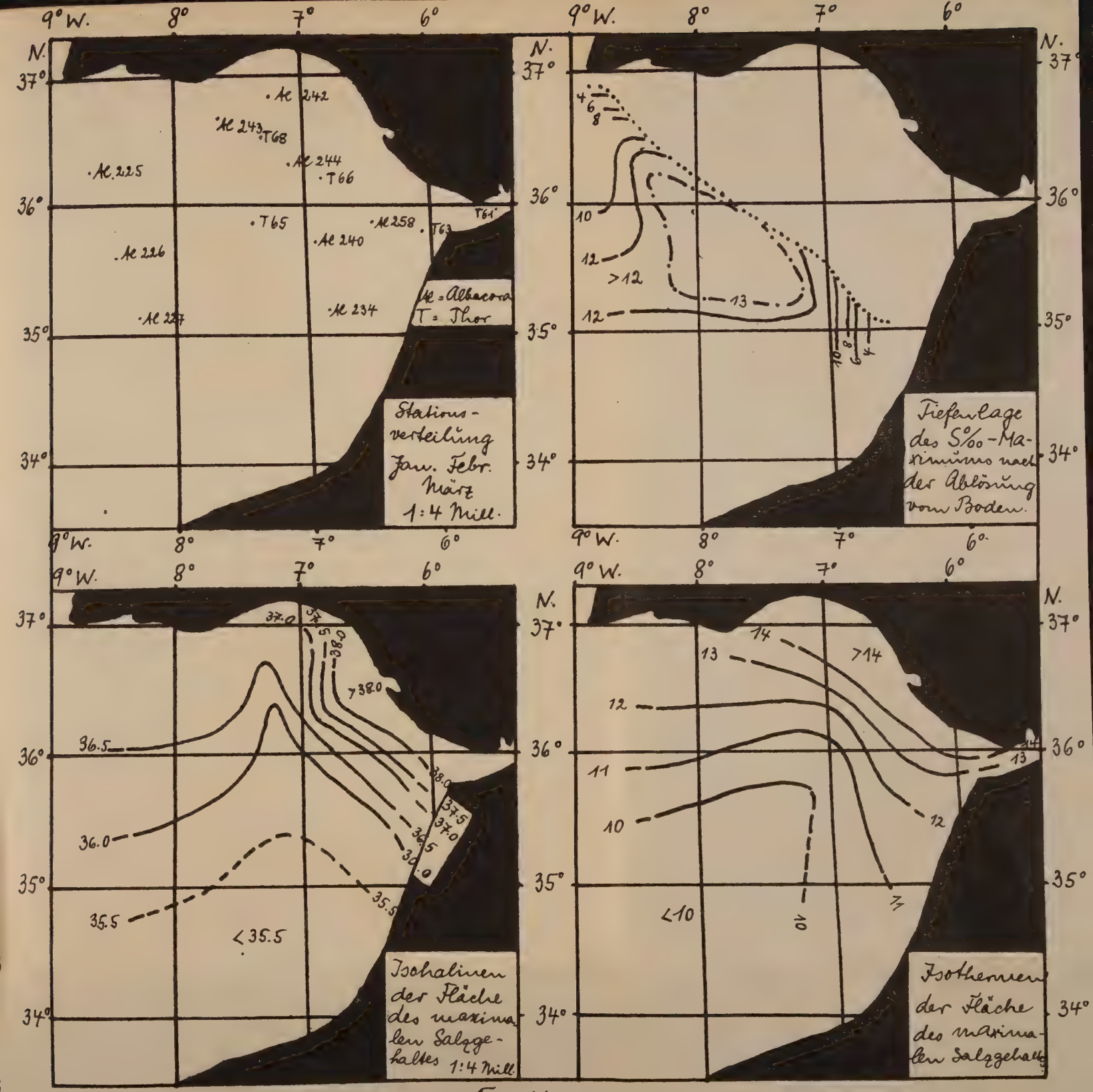

9° W.
8°
7°
6°
N.
37°
36°
35°
34°
Ac 242
Ac 243
T68
Ac 244
T66
Ac 225
T65
Ac 258
T63
T61
Ac 240
Ac 226
Ac 227
Ac 234
Ac = Albacora
T = Thor
Stations-verteilung Jan. Febr. März 1:4 Mill.
4
6
8
10
12
>12
13
Tiefenlage des S‰-Maximums nach der Ablösung vom Boden.
37.0
38.0
>38.0
36.5
36.0
35.5
<35.5
37.5
Isohalinen der Fläche des maximalen Salzgehaltes 1:4 Mill.
14
>14
13
12
11
10
<10
Isothermen der Fläche des maximalen Salzgehalt

Fig. 11

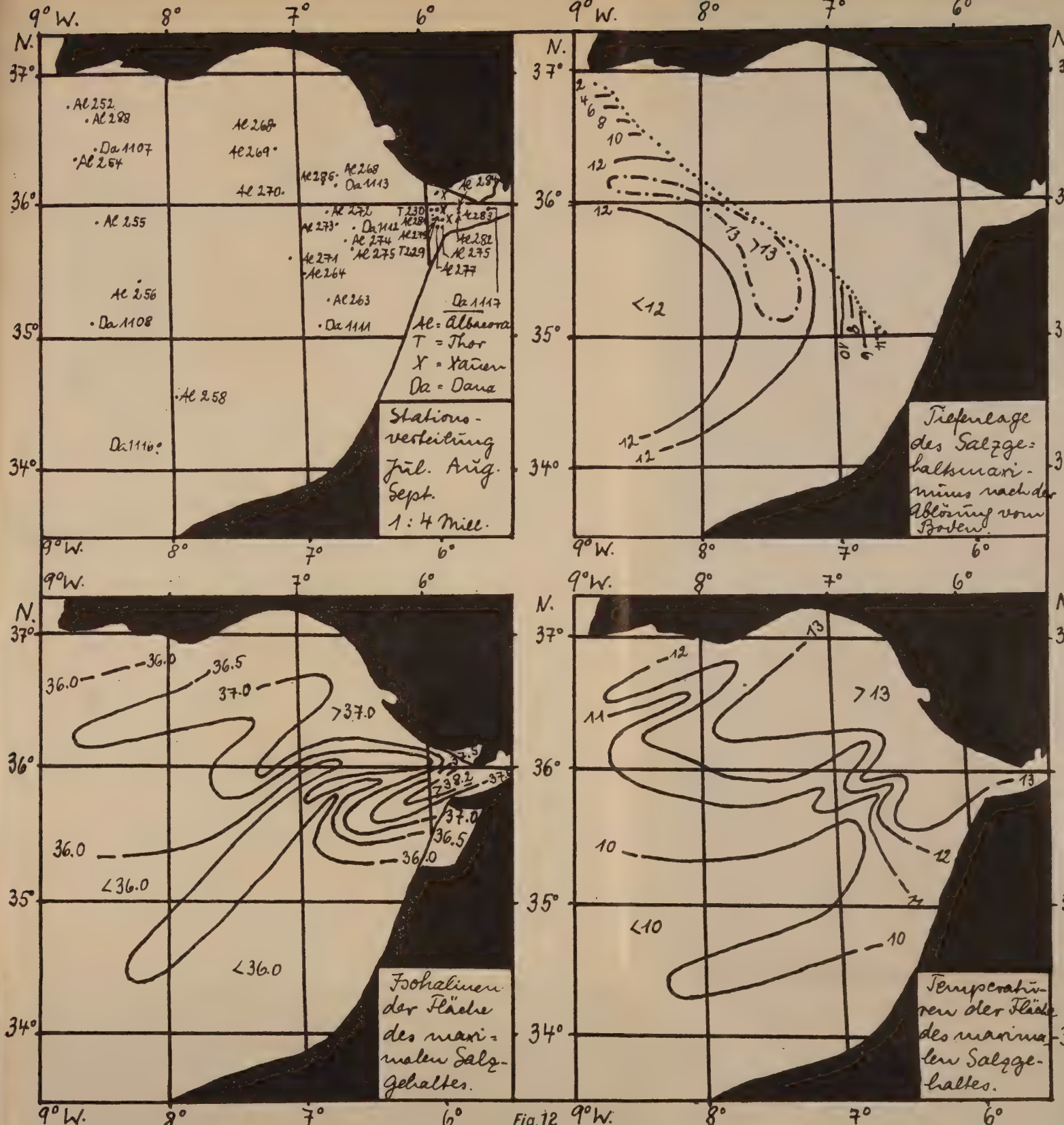
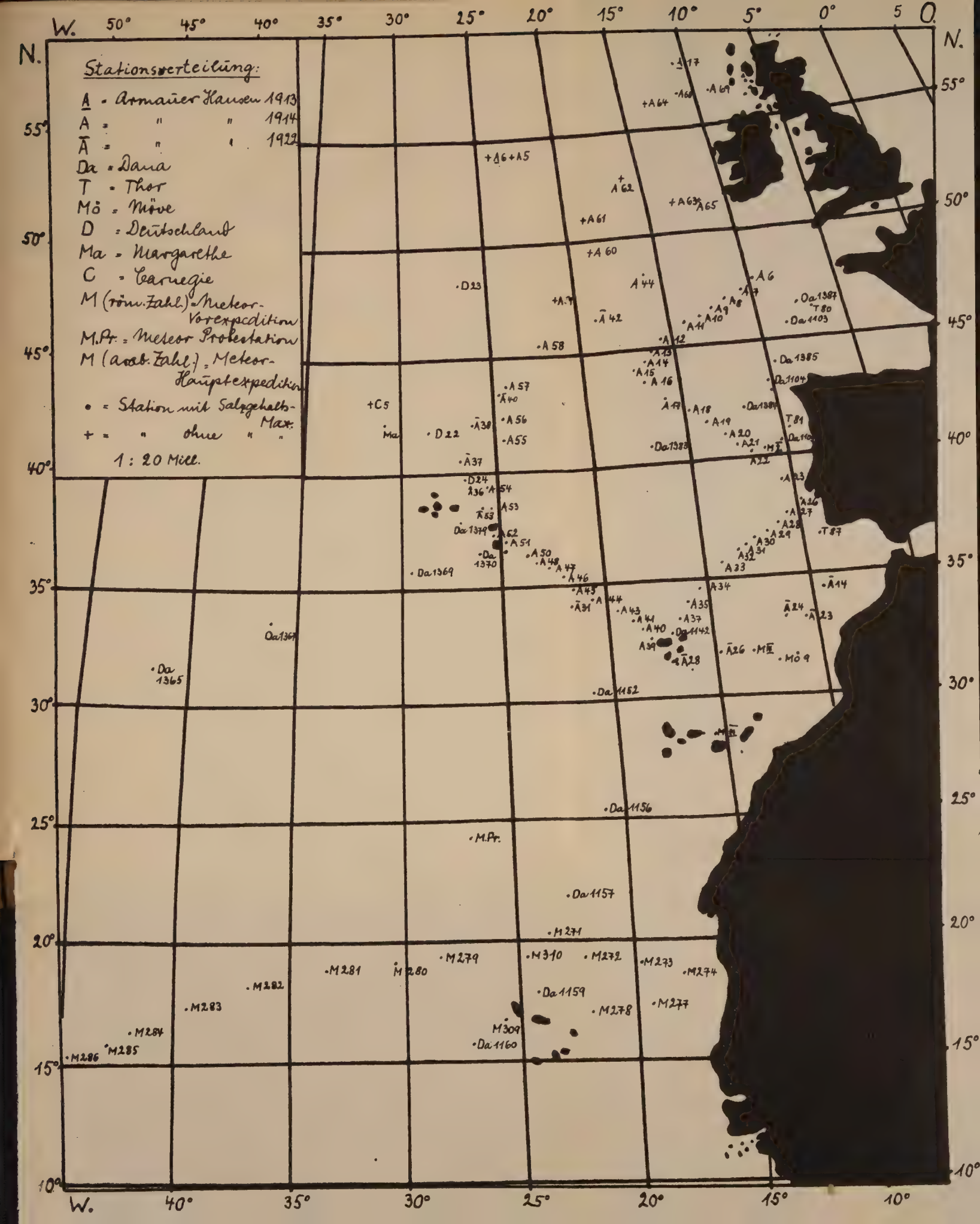
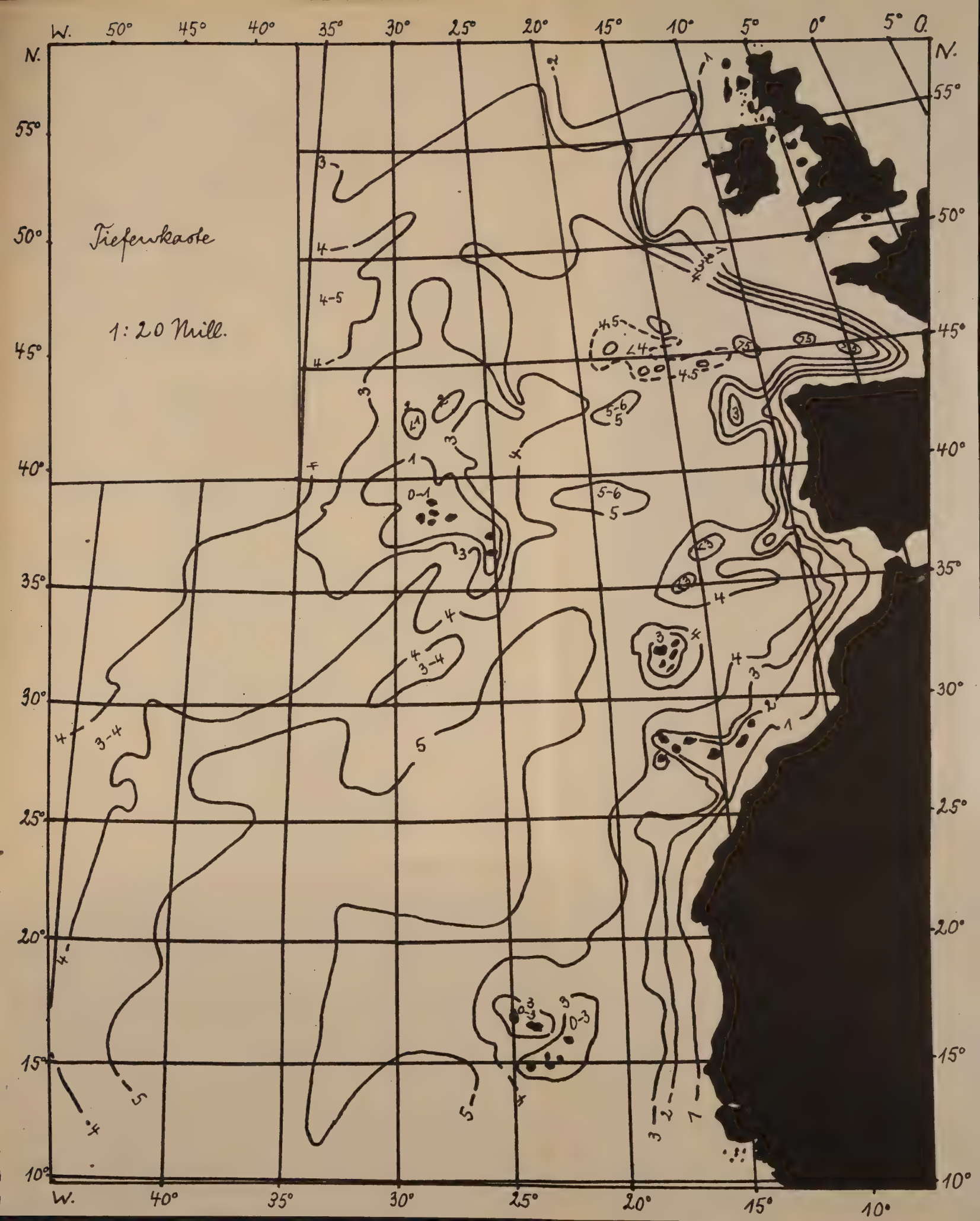

9° W.
8°
7°
6°
N.
37°
36°
35°
34°
Al 252
Al 288
Da 1107
Al 264
Al 268
Al 269
Al 270
Al 286
Da 1113
Al 287
Al 271
Al 273
Da 1112
Al 274
Al 275
Al 277
Al 255
Al 256
Da 1108
Al 263
Da 1111
Al 258
Da 1116
Da 1117
Al = Albacora
T = Thor
X = Xarifa
Da = Dana
Stations-verteilung Juli. Aug. Sept. 1:4 Mill.
Tiefenlage des Salzgehaltsmaximums nach der Ablösung vom Boden.
Isohalinen der Fläche des maximalen Salzgehaltes.
Temperaturen der Fläche des maximalen Salzgehaltes.

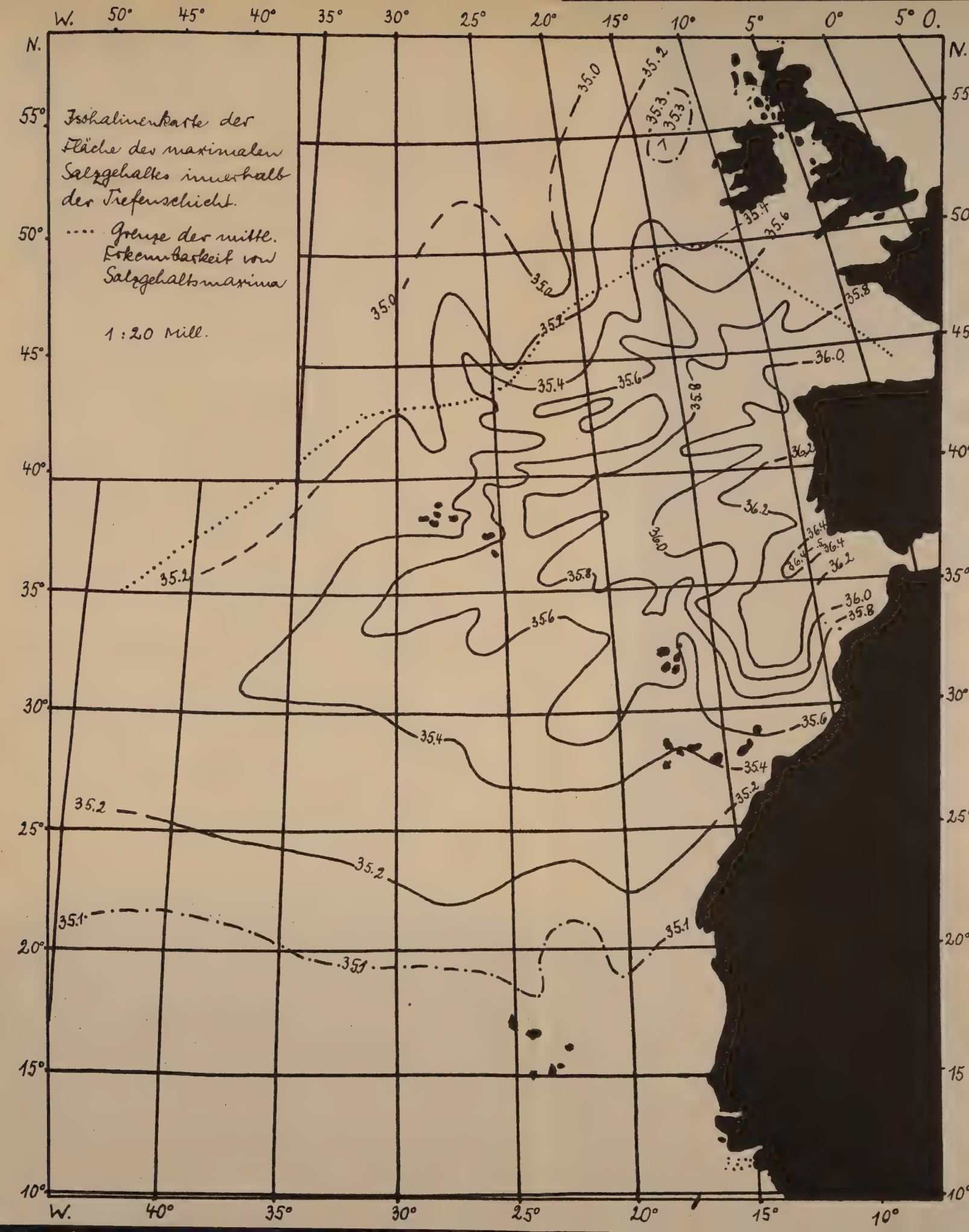
Fig. 12



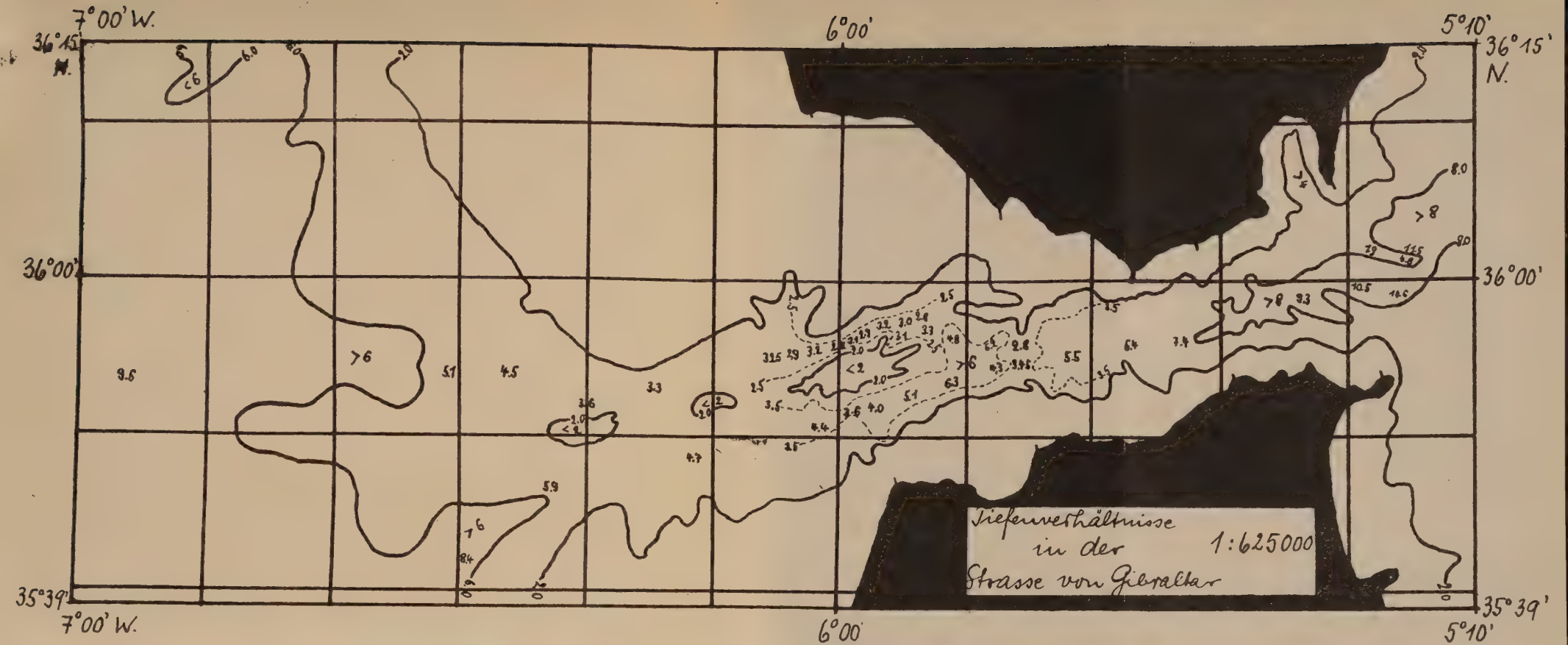
Stationsverteilung:
A = Armauer Hansen 1913
A = " " 1914
Ā = " " 1922
Da = Dana
T = Thor
Mö = Möve
D = Deutschland
Ma = Margarethe
C = Carnegie
M (röm. Zahl.) = Meteor-Vorexpedition
M.Pr. = Meteor Probestation
M (arab. Zahl.) = Meteor-Hauptexpedition
• = Station mit Salzgehalts-Max.
+ = " ohne " "
1 : 20 Mill.
W.
O.
N.


Tiefenkarte
1:20 Mill.
W. 50° 45° 40° 35° 30° 25° 20° 15° 10° 5° 0° 5° O.
N. 55° 50° 45° 40° 35° 30° 25° 20° 15° 10°

Tiefenkarte des Salzgehaltsmaximums innerhalb der Tiefenschicht.
1 : 20 Mill.
W.
O.
N.
50°
45°
40°
35°
30°
25°
20°
15°
10°
5°
0°
55°
1000
1100
1200
1300
1400
1500
900
800
700
1000-1100
1100-1200
1200-1300
1300-1400
1500-1600


Isohalinenkarte der Fläche des maximalen Salzgehaltes innerhalb der Tiefenschicht.
.... Grenze der mittl. Erkennbarkeit von Salzgehaltsmaxima
1 : 20 Mill.
W. 50° 45° 40° 35° 30° 25° 20° 15° 10° 5° 0° 5° O.
N.
55°
50°
45°
40°
35°
30°
25°
20°
15°
10°
35.0
35.2
35.3
35.4
35.6
35.8
36.0
36.2
36.4
35.1

Isothermenkarte der Fläche des maximalen Salzgehalts innerhalb der Tiefenschicht.
1 : 20 Mill.
W. 50° 45° 40° 35° 30° 25° 20° 15° 10° 5° 0° 5° O.
N. 55° 50° 45° 40° 35° 30° 25° 20° 15° 10°
11-11.5
11-12


7°00' W.
6°00'
5°10'
36°15' N.
36°00'
35°39'
Tiefenverhältnisse
in der
Strasse von Gibraltar
1:625000